

**LA ARQUITECTURA NAVAL**  
**EN EL**  
***EXAMEN MARÍTIMO***

**Francisco Fernández González**

**Contribución al**  
**Homenaje a Jorge Juan y Santacilia**  
**Real Academia de Ingeniería**

**Cádiz, 19-20 de Abril de 2010**

## **INDICE**

- 1. Aproximación a la obra**
- 2. Del título de la obra**
- 3. Textos pioneros sobre Arquitectura Naval**
- 4. Los textos que conoce Jorge Juan**
- 5. La Arquitectura Naval que oculta Jorge Juan**
- 6. Recorrido por el *Examen Marítimo***
- 7. Precedentes del *Examen Marítimo***
- 8. Después de Jorge Juan**
- 9. Análisis léxico-técnico**
- 10. Bibliografía**
- 11. Figuras**
- 12. Notas**

# LA ARQUITECTURA NAVAL EN EL *EXAMEN MARÍTIMO*

Francisco Fernández González

**Contribución al Homenaje a Jorge Juan y Santacilia**  
**Real Academia de Ingeniería de España,**  
**Cádiz, 19-20 de Abril de 2010**

*Qui mare in navibus descendunt, facientes operationem in aquis multis;  
Ipsi viderunt opera ejus, & mirabilia ejus in profundo. Psal.106.<sup>1</sup>*

## 1. APROXIMACIÓN A LA OBRA

El *Examen Marítimo*<sup>2</sup> de Jorge Juan ha sido siempre considerado por muchos como una obra imprescindible de la Arquitectura Naval española y así nos hemos acercado a ella en esta ocasión. Sin embargo, al releerla con la intención de responder al título de este trabajo, nos tropezamos con una sorpresa: Jorge Juan no menciona la Arquitectura Naval, ni a los arquitectos navales en toda esta obra. Nos sorprende, porque cuando Juan publica sus dos tomos la Arquitectura Naval estaba establecida en Francia desde treinta años antes<sup>3</sup> y en Inglaterra se aceptaba como una nueva rama de la Ciencia. Además, era reciente en España la constitución del Cuerpo de Ingenieros de Marina.<sup>4</sup> Jorge Juan tampoco habla de Ingenieros; en su lugar, son numerosas sus referencias a los Constructores, en los que implícitamente reconoce que tienen la capacidad para proyectar barcos además de la responsabilidad de construirlos.

Teniendo en cuentas todo esto, hemos abordado el análisis del *Examen Marítimo* desde diversas perspectivas con el fin de conocer hasta qué punto las intenciones del autor incluyeron la Arquitectura Naval o sus Arquitectos, los nuevos Ingenieros de Marina.

Se ha aceptado que la obra fue escrita en dos etapas, y que el Tomo 1º precedió al Tomo 2º en algunos años<sup>5</sup>. Sin embargo, el propio autor nos explica que fue al revés: que el segundo tomo nació, al menos en borrador, antes que el primero, aunque lo más probable es que los llevara a la par, como hiciera Euler. En efecto, como se relata en el Prólogo, donde plantea su segundo tomo como un ejercicio claro del método científico (destacamos ambos aspectos con nuestro subrayado):

*Ya no debemos, pues, extrañar que la velocidad calculada, y que deben tomar los Navios, esté tan apartada de la que realmente toman: los supuestos sobre que se fundó son falsos; pero no es esto aun la peor consecuencia: si la resulta en la velocidad es tan sumamente errónea, cómo podemos asegurar tampoco ninguna de las demás deducciones, ya sean de los ángulos que deben formar las Velas, con el viento, el del Timón, ni tampoco la deriva, ni los aguantes de Vela, y demás acciones del Navio ? Todo debe estar viciado, ó á lo menos debe discurrirse así. El asunto pedía un serio examen, y este es el mismo que me propuse, sin escusar trabajo ó fatiga.*

*Era menester empezar por seguras experiencias, que acreditasen la duda de las resistencias: buscar después, por vías diversas, ó por las mismas con que actúa la Naturaleza, otra theórica de ellas; y últimamente examinar si esta convenia, no solamente con la marcha de los Navios, sino con todas sus acciones, y asimismo con*

*todos los efectos ó movimientos que en la Naturaleza se observan. El empeño, aunque arduo, produjo aun mucho mas de lo que yo mismo esperaba.*<sup>6</sup>

*De todos estos errores, y algunos mas que, por no dilatarnos, escusamos referir, hemos procurado liberrar nuestra theórica; pero para exponerla nos faltaban muchos documentos de mecánica, particularmente sobre la acción y movimiento de los fluidos. Pensamos, pues, por esto en exponerlos desde los principios, incluyendo todo lo que igualmente conduce a la theórica de las Machinas simples y compuestas, sus fricciones, choques de cuerpos, y sus acciones, pues todo es propio de la Marinería, y conducente á la resolución de tan intrincadas soluciones como las que se verán.*<sup>7</sup>

También se ha escrito<sup>8</sup> que la intención de Juan al escribir el Examen Marítimo era “la instrucción del Marinero”, tomando una frase del propio autor en su Prólogo y sin olvidar que para el mismo autor, Marineros eran también los Oficiales de la Marina. En este caso, no nos interesa tanto el conocer su intención, que pudo ser motivación, como el averiguar qué fue lo que provocó en el autor, un marino y matemático ilustrado, abordar el ingente trabajo que supuso su obra, como ha dejado reflejado en palabras como las reproducidas arriba.

## 2. DEL TÍTULO DE LA OBRA

Empezaremos por examinar el sentido de sus palabras en las citas más significativas. La primeras están en el título elegido: *Examen Marítimo Teórico-Práctico*.

Los Diccionarios de la RAE de 1732 y de 1780 definen *Examen* como “averiguación y prueba que se hace de alguna cosa para saber su calidad y requisitos.” Y también como “cuidado, diligencia, estudio y aplicación para inquirir la verdad de alguna cosa o suceso.”

Y *Marítimo* es en esos mismos años “lo que toca o pertenece al Mar”.

Así, ya vemos que una idea directriz de Jorge Juan es *Averiguar la verdad de lo que tiene que ver con la Mar*, y por tanto, según la tratan los Marineros. No alude en el primer título a los barcos, ni en lo naval ni en lo náutico. Sin embargo, los incluye en el subtítulo, como objeto de su Tratado de Mecánica, y serán el núcleo de su estudio.

El sentido que Juan da a su *Teoría y Práctica* merece también examinarse.

El diccionario RAE 1739 define la *Theórica* como el “conocimiento especulativo e interior de la esencia y calidad de las cosas”, y *Theórico*, “el que comprehende y entiende la esencia de las cosas especulativamente, sin prueba práctica”.

*Practicar*, en 1737 es “ejercitar y poner en práctica alguna cosa que se ha aprendido y especulado”, y *Práctico* es “lo que pertenece a la práctica; se aplica a las facultades que enseñan a hacer alguna cosa”.

Hay, pues, una conexión efectiva entre la Teoría y la Práctica, y ésta puede quedar referida y supeditada a aquélla. En nuestro caso, el autor se plantea enseñar cómo aplicar lo que desarrolla de manera especulativa.

Conviene también detenernos en el término *Especulativo*, que es con gran frecuencia utilizado por Jorge Juan y otros autores del siglo, como los *Geómetras* que él cita.

Dice el DRAE de 1734 que *Especular* es “considerar despacio y con reflexión alguna cosa, meditándola y contemplándola para entenderla”, y en 1780 añade que la

*Especulación* es “contemplación grande y aplicación del entendimiento para saber y entender las cosas”, y la *Especulativa* es la “comprehensión, facultad y capacidad grande con que uno discurre, y se dedica a inquirir, saber y alcanzar, lo esencial de las cosas, la que tiene el hombre que es estudioso y hábil.”

Como otros autores del siglo, Jorge Juan califica de *Geómetras* a los que utilizan el Álgebra para resolver los problemas de la Geometría, conceptos que encontramos desarrollados en una obra de Guisné<sup>9</sup> que tenía en su biblioteca.

### **Teoría vs Práctica**

La asociación de Teoría y Práctica era un recurso habitual en las obras de ciencia del siglo XVIII y anteriores.<sup>10</sup>

Jorge Juan considera la Práctica tan fundamental para validar la Teoría que esgrime su ausencia como el mayor defecto de los autores que le preceden, los especulativos que cultivan la Geometría, los *Geómetras* “que manifiestan solamente la verdad de las proposiciones demostrando las propiedades y atributos de las cosas mensurables”.<sup>11</sup> Su Prólogo está cuajado de alusiones críticas a los autores que admira por su Teórica pero carecen de la Práctica necesaria.<sup>12</sup>

Sin embargo de estas críticas, veremos luego cómo también Bouguer abogaba por una mejor conjunción de la experiencia con la especulación.<sup>13</sup>

### **3. TEXTOS PIONEROS SOBRE ARQUITECTURA NAVAL**

El primer tratado que conocemos que usa ese nombre en el título, y que lo desarrolla y explica, es *O Livro Primeiro da Architectura Naval*, escrito por João Baptista Lavanha entre 1614 y 1615. Deriva la Naval de la Arquitectura Universal, que nace de la Fábrica y del Discurso según Vitrubio, y es interesante comprobar que también entonces define la necesidad de aunar Teoría y Práctica: “*Por lo que conviene, que tenga noticia de la práctica y sea muy Especulativo, el que quisiere merecer con justo título el nombre de Arquitecto.*”<sup>14</sup>

Define y justifica luego las disciplinas que debe conocer el Arquitecto Naval, que son la Ordenación, Disposición, Correspondencia, Ornato, Decoro y Distribución:

*A esta nuestra Architectura Naval y a su profesor pertenece lo que se dice de la Architectura y del Arquitecto universal, y así es ella generada de la Práctica y de la Especulación y ambas conviene que tenga su Arquitecto siendo práctico en la labor de la materia, de que esta Arte se sirve (que es la madera) y muy especulativo para demostrar y declarar la proporción y Arte con que se ordena su navío para que así satisfaga las preguntas de los sabios y se libre de las burlas de los ignorantes. Es más necesario que sepa trazar y dibujar y tenga alguna noticia de la Astronomía y mucha de la Aritmética, de la Geometría y de la Mecánica, que son partes de las Matemáticas.*<sup>15</sup>

Es también un pionero en recomendar el uso de “modelos de astillero”<sup>16</sup>, que veremos preconizado como algo original por Griffiths<sup>17</sup> en 1850.

*Y finalmente, lo que más importa, obrará en madera un Modelo de ella, en el cual conocerá mejor las faltas que (haya) en la imaginación y así enmendadas lo acabará para que por él se haga con mucha perfección el Navío que determina fabricar.*

*Y no parezca al profesor de esta Arte que quisiere merecer el nombre de Arquitecto de ella que puede escusar el uso de estas cinco Partes de la Disposición [plantas, alzados, interior, perspectiva y modelo] y que le basta saber las medidas del propuesto navío para sin las dichas partes poder acabarlo sin lo cual se engañará grandemente y cometerá muchos yerros. Y para huir de ellos, conviene que haga un Modelo, en el cual primero los enmiende, y este perfecto le sirva de molde y ejemplar por el cual fabrique todos los Navíos de aquel género y grandeza.<sup>18</sup>*

Lavanha sigue las pautas de Vitrubio, y su Arquitectura Naval es una mera rama de la Arquitectura Universal, un Arte que necesita de la Ciencia. Las características de esa Arquitectura como Arte las encontramos en otro manuscrito portugués en el que se denuncia el secretismo de la práctica constructora naval y su falta de reglas.

*Por tanto considerando en cuánto releva a este reino tener buenos navíos y carpinteros que los hagan, determiné escribir este libro de la fábrica de las naos: en el cual pongo esta arte en reglas y preceptos ordenados y claros, de manera que los pueda entender y usar toda persona: porque hasta ahora estuvo esto escondido en poder de hombres avarientos, que no querían enseñarlo: y si enseñaba alguien, era imperfectamente, porque enseñaban solamente algunas cosas pocas por palabra y práctica muy vulgar. Y también me parece que no enseñaban bien esta arte, porque no entendían bien: porque los maestros que entienden mal lo que enseñan son oscuros en la práctica, así como sus entendimientos están oscuros en las materias que practican.<sup>19</sup>*

Añade algunas máximas, como:

*Arte digo que es, doctrina de palabra, o de ejemplo, fundada en buena razón, y confirmada por la experiencia. O como otros dicen es copia de documentos tomados de buenos autores. (...)*

*Finalmente el buen carpintero, además de tener singular ingenio, e inventiva, todavía, siempre se ha de conformar con el arte, quiero decir, con la doctrina de los pasados, que ya está aprobada, y puesta en uso, por la buena razón que se halla en ella. (...)*

*Guarden los carpinteros las reglas generales, y mucho más las particulares, porque el yerro particular es más perjudicial que el general.<sup>20</sup>*

La referencia a Vitrubio nos lleva a consultar su obra, publicada en 1602 en Lyon, para comprobar cómo se refiere a la Arquitectura Naval. Sólo en el libro décimo hallamos una aplicación del hodómetro a las naves, que es un probable precursor de la rueda de paletas.<sup>21</sup> Sólo incluye otra referencia a las naves, y es a los astilleros, para los que explica cómo pilotar las gradas con estacas de olivo y orientar las gradas hacia el norte para evitar la pudrición de las maderas.<sup>22</sup>

Un manuscrito de León Battista Alberti, publicado en Roma en 1485 y citado por autores posteriores, abunda sobre la obra de Vitrubio y describe sólo por encima algunos aspectos del arte de la construcción naval que nada avanzan sobre qué es la Arquitectura Naval.<sup>23</sup>

Tenemos otras obras que usan la Arquitectura Naval en su título, anteriores al siglo XVIII; son las de Joseph Furttenbach<sup>24</sup>, Anthony Dean<sup>25</sup> y el Señor de Dassie.<sup>26</sup>

El libro de Furttenbach es la primera obra impresa que se titula como *Arquitectura Naval*, ya que la de Lavanha no pasó de manuscrito. Merece por tanto que nos asomemos a ella.

Está escrita en clave italiana, cuyos nombres utiliza sin traducirlos. No sólo los nombres de las embarcaciones sino también los de todas las partes de los barcos, las piezas y elementos y los sistemas de trazado y representación, que son venecianos.. Explica el trazado, las medidas, el aparejo, artillería, dotación, víveres y pertrechos. Usa arcos de círculo que no son tangentes entre sí y describe con ellos las Rodas de Proa y de Popa, las Estamenaras y los Forcaces. Utiliza el “rabo de espada” y la “media luna” para trazar las curvas longitudinales. No da ninguna fórmula, ni reglas ni proporciones, ni modo de calcular nada. Se trata de una *Arquitectura Descriptiva*, al igual que en sus otras obras sobre la *Arquitectura Civil*, *Militar*, de *Recreo* y *Privada*, así como en sus ingenios para los escenarios de teatro y de espectáculos pirotécnicos.

Cuando Deane escribe su obra, en 1670, la *Arquitectura Naval* había avanzado muy poco desde la artesanía medieval hacia una ciencia moderna. En el pasado, el proyecto había sido parte de la formación de los constructores pero en 1664 Bushnell se quejaba de que ya sólo se los entrenaba como trabajadores manuales, y que los secretos del diseño se los reservaban unos pocos privilegiados. Aunque se usaban más los dibujos, no todos los constructores podían utilizarlos y los trabajadores no sabían cómo hacerlos. Según Pepys, Shis, el maestro Constructor del Arsenal de Deptford, era analfabeto, alcohólico e incapaz de medir bien una pieza de madera, pero había construido barcos muy buenos. Por el contrario, Deane era de la nueva escuela y trabajaba sobre el tablero de dibujo mejor que experimentando en el astillero.<sup>27</sup>

Como la mayoría de los autores del tema, hasta mediado el XVIII, la obra está plagada de cálculos, pero éstos sólo se refieren a problemas geométricos para definir las formas del barco. Aparte del cálculo del calado y del desplazamiento, que se valoran como las mayores aportaciones de Deane, no hay ninguna referencia al comportamiento del barco en la mar. Sólo propone algunas proporciones, todas ellas sujetas a la experiencia y lejos de cualquier planteamiento científico.<sup>28</sup>

La obra de Dassie responde a su título y no es más que una guía para la construcción de las naves, en la que incluye el trazado de las secciones con arcos circulares, como luego hará Gaztañeta.<sup>29</sup>

#### 4. LOS TEXTOS QUE CONOCE JORGE JUAN

Como hemos advertido, Jorge Juan no menciona la *Arquitectura Naval* y, por tanto, no comenta ninguno de esos textos iniciales, en los que esa *Arquitectura* se presenta como un *Arte* y sólo se sugieren y se esbozan los componentes que deben llevarla a la categoría de *Ciencia*. Tampoco en su biblioteca<sup>30</sup> se hallan los textos que hemos referido. Sin embargo, el *Examen Marítimo* cita las obras más cercanas a su autor, todas ellas dedicadas a las materias que configurarán la nueva *Arquitectura Naval* como *Arte-Ciencia* a finales del siglo. De estas obras, unas sirvieron de inspiración para Jorge Juan y otras le provocaron el estudio más profundo para apuntalar sus críticas.

El despertar de la *Arquitectura Naval* como *Ciencia* no fue una eclosión suave sino una pugna entre *Geómetras* y *Especuladores* que sólo acabaría con la aportación de los *Marinos* y *Prácticos* como Jorge Juan.

En el Prólogo del *Examen Marítimo* se hace eco de un debate en el que habían tomado parte los científicos que le precedieron. Es muy probable que durante sus nueve años en Ecuador comentara esos temas con los franceses y los leyera en los libros que, sin duda, llevaron o les llevaron. Esta etapa debió de propiciar un aldabonazo en la mente inquisitiva de quien se había destacado por su nivel en la Geometría y el Cálculo, y un acicate para intentar resolver los problemas que planteaban las nuevas teorías. Es también muy probable que su trato con Bouguer, un científico reconocido, mientras éste escribía su *Traité du Navire*,<sup>31</sup> le despertaran las dudas y el interés suficientes que lo llevarían a componer su propio tratado dirigido a los Guardias Marinas. Es significativo que Jorge Juan describa en su prólogo, y en parecidos términos, el debate entre Renau y Huygens con la intervención de Juan Bernoulli que ya incluía Bouguer en su prefacio.

En 1673 el Padre Pardies publicaba *La Statique ou la Science des Forces Mouvants*,<sup>32</sup> en la que determinaba el rumbo que debía seguir un barco con viento oblicuo. Hallaba que andaría menos que si avanzara según la dirección de su quilla, porque entonces el agua lo rodearía por igual en ambos costados, en la relación del radio al seno del ángulo de las velas con la quilla; y que su deriva sería menor que el avance según la quilla en la razón compuesta del radio al coseno del mismo ángulo y de la resistencia lateral a la directa.<sup>33</sup>

En las conferencias de París de 1681, Bernard Renau d'Elizagaray propuso utilizar secciones cónicas para formar las cuadernas con objeto de facilitar el tratamiento matemático de la carena, pero, como apuntaría Bouguer más tarde, estas curvas sólo tenían la ventaja de ser más conocidas para los constructores y más sencillas de trazarlas.

El mismo Renau publicó en 1689 una *Theorie de la Manoeuvre des Vaisseaux*,<sup>34</sup> en la que sigue al P. Pardies y a otros estudiosos del tema y dice que la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido y al cuadrado del seno del ángulo con el que choca sobre la superficie.

Los errores en el desarrollo del Caballero Renau fueron denunciados por Huygens en 1693 en la *Bibliothèque universelle et historique*, donde rechazaba las conclusiones de aquél para orientar las velas. A la respuesta de Renau en *Le Journal des Savants* de 1695 contestó Huygens, pero el debate quedó inconcluso por su muerte ese mismo año. La importancia del tema, y el propio debate abierto, atrayeron la atención de Jacobo Bernoulli desde Groningen, en las *Actes de Leipsig* de 1696, quien tomó partido por Huygens, pero sin admitir que la velocidad del viento fuera infinita respecto al barco. Renau publicó su contestación como *Mémoire où est démontré un principe de la mécanique des liqueurs, dont s'est servi la Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux, et qui a été contesté par M. Huygens*, en la que defiende su teoría sin refutar las críticas. Al debate se suma Johann Bernoulli desde Basilea, tomando primero partido a favor de Renau para apoyar luego a Huygens después de estudiar mejor ambas posturas. El resultado de su análisis fue una nueva teoría<sup>35</sup> que publicó en 1714. Johann Bernoulli va más allá de Renau y Huygens, y estudia la curva de velocidades y el efecto en la velocidad de bolina de variar el ángulo del viento con las velas y con la quilla. Sin embargo, su teoría adolece del error de considerar el viento con velocidad infinita y la deriva nula. Aunque estudia la resistencia al avance de formas distintas del rectángulo que usan los autores precedentes, sus análisis carecen de utilidad práctica porque no los contrasta con ninguna experiencia real.



En pleno debate de la teoría de Renau, y dos años después de morir Huygens, el jesuita Paul Hoste publica en 1697 en Toulon una *Théorie de la Construction des Vaisseaux, qui contient plusieurs traités de Mathématiques sur des matières nouvelles et curieuses*. Hoste razona sobre las propiedades y características de los barcos apoyándose para ello en numerosas proposiciones que demuestra geométricamente, desde las más elementales hasta los problemas más difíciles y abstrusos, basándose en las partes de la Mecánica que necesita en cada caso. Investiga la resistencia de sólidos con formas diversas para avanzar en un fluido, y la hace proporcional a la velocidad. Estudia también la posición del centro de gravedad para aguantar vela y concluye que si se conoce el centro de gravedad del barco, se conoce fácilmente la fuerza con la que puede aguantar vela, que no es sino el producto del peso del barco por la distancia entre el centro de gravedad y el del desplazamiento. Otros temas que merecen su atención son: la acción de las fuerzas que escoran el barco; su efecto en el balance y en la variación del calado; las condiciones que afectan al cabeceo y la guindada; el efecto de los embonos en la estabilidad, que mide siempre por el producto del peso del barco por la distancia entre el centro de gravedad y el de desplazamiento; los efectos del choque de las olas en la velocidad y en los movimientos de balance, cabeceo y guindada; el efecto de la estiba en la estabilidad; el efecto de las formas de proa y de la roda en el cabeceo. A pesar de sus errores teóricos y de sus objetivos prácticos, se trata de una obra pionera en el intento de someter la Construcción Naval a las reglas de las Matemáticas, que hace uso los principios de la Geometría para crear una teoría de la Arquitectura Naval y que supone un claro avance sobre la obra del Señor de Dassie de tres décadas antes y sobre sus propias ideas publicadas en 1692.<sup>36</sup>

En el primer tercio del XVIII, aparte de las condiciones establecidas por la autoridad, la construcción naval no tenía otras guías que los resultados que ofrecía la experiencia de los Marineros. Los constructores carecían de modelos teóricos para correlacionar los factores de su técnica y la mera observación de algunos hechos resultaba ineficaz para resolver los problemas del proyecto. Además, lo poco que se aprendía se ocultaba celosamente a los demás hasta el punto de propiciar la persistencia en el error.<sup>37</sup>

El estado del arte de la construcción naval requería un Tratado como el de Bouguer en el que se aborda la extrema complejidad del tema evitando el uso de razonamientos intrincados y simbólicos. Lo consigue utilizando muy pocas fórmulas algebraicas y desarrollando los principios con la ayuda de la Geometría en lugar de las Matemáticas mixtas. Al mismo tiempo, reconoce que el razonamiento abstracto es insuficiente para conseguir su objetivo, y que también es insuficiente el conocimiento que se deriva de la mera experiencia.<sup>38</sup>

### **Bouguer, Euler, Jorge Juan**

Bouguer y Euler se revelan como las referencias más inmediatas de Jorge Juan cuando escribe su *Examen Marítimo*. Publican sus obras casi al mismo tiempo y tienen la tinta fresca cuando llegan a las manos de Juan para redactar su obra. Presentan dos modos diferentes de teorizar sobre las cuestiones que despertarán la inquietud de Jorge Juan, quien no puede evitar reflejarse en ellos al plantear su texto.

En el aspecto editorial, tenemos tres obras comparables por la cantidad de información que ofrecen sus capítulos, que valoramos por el número de caracteres aproximado, con exclusión de prefacios e índices:

Bouguer:	un solo tomo	1.413.104
Euler:	$799.200 + 959.400 =$	1.758.600
Juan:	$887.260 + 814.188 =$	1.701.448

La composición del libro de Bouguer se distingue de las de Euler y Juan, que presentan unas características similares entre sí.

El libro de Bouguer está redactado como texto explicativo, apoyado en figuras, que no divide en artículos numerados sino en 3 libros, con 11 secciones y 85 capítulos que se reparten 682 páginas. El estilo se asemeja al de Newton<sup>39</sup>, pero presenta las figuras en láminas al final.

Los libros de Euler y Juan son equiparables, hasta el punto de hacernos pensar que el *Examen Marítimo* tomó como modelo la *Scientia Navalis*.<sup>40</sup>

Ambos dedican el primer tomo a la Mecánica, que tratan con los preceptos de la Geometría, a través de lemas, definiciones, teoremas, demostraciones, proposiciones, corolarios y escolios.

El tomo 1º de la *Scientia Navalis* contiene 77 proposiciones, 10 teoremas, 17 lemas, 523 corolarios, 121 escolios, 55 ejemplos y 2 definiciones, en sus 444 páginas.

El tomo 1º del *Examen Marítimo* contiene 162 proposiciones, 59 definiciones, 586 corolarios, 110 escolios y 6 lemas, en sus 436 páginas.

Jorge Juan no ofrece teoremas y, al contrario que Euler, utiliza los corolarios y escolios de manera algo arbitraria y desordenada, lo que probablemente llevara a M. Levêque<sup>41</sup> a identificar cada parágrafo del Tomo 1º con un número de artículo en la traducción francesa, como ya se hacía en el Tomo 2º original.

Los tres autores incluyen como subtítulos la *Construcción* y la *Maniobra* de las naves, pero el de Juan es el único que añade el concepto *Conocimiento*, lo que nos advierte de su intención de preparar a los Marineros para el proyecto de los navíos.

## 5. LA ARQUITECTURA NAVAL QUE OCULTA JORGE JUAN

Nos interesa ahora analizar qué elementos de la Arquitectura Naval esconde Jorge Juan en su *Examen Marítimo*. Y decimos que los esconde porque no los saca a luz como materias de esta Arte recientemente elevado a Ciencia, ni los aplica para la instrucción del Arquitecto Naval, sino que se los ofrece al Marinero, al que sin duda Jorge Juan, maestro de Guardias Marinas, quería enseñar los arcanos de la Arquitectura Naval como algo propio de la formación científica de los futuros Ingenieros de Marina.

Tampoco plantea el Tomo 2º como un texto para el estudio y la enseñanza, sino como una exposición de sus investigaciones, una explicación de la Teórica que ha hallado y una demostración de su conformidad con la Práctica.

Sin embargo, comprobamos que en el *Examen Marítimo* se contienen los más valiosos ingredientes de la Arquitectura Naval que puede ya definirse como la conjunción de la Teoría de la Nave, que proponen Bouguer y Euler, y la Construcción Naval como la solución material de las embarcaciones. Hay que recordar aquí que la teoría del barco de vela y de madera planteaba unos problemas que eran propios y que desaparecieron o se diluyeron con la propulsión mecánica y los cascos metálicos, especialmente en relación

con el comportamiento del barco en la mar, la estabilidad, el quebranto y la maniobrabilidad.

Mientras escribía su obra, Jorge Juan tuvo la ocasión privilegiada de conocer los hechos de los autores vivos de los trabajos que más le interesaban.

Analiza especialmente los trabajos de Juan Bernoulli, Pierre Bouguer y Leonardo Euler, a los que, a pesar de sus críticas admira como Geómetras<sup>42</sup> y de cuyas obras comenta<sup>43</sup>

“Estos han sido los documentos que nos han servido de Norte en lo científico de la Marinería; la práctica por otro lado no es menos maestra, particularmente si, después de bien examinada y despejada de los accidentes que puedan hacerla variar, no se conforma con la theórica. En este caso, no hay Científico que no crea, que algún supuesto falso precedió á esta: es preciso buscarle y corregirle, porque la práctica no es distinta de theórica: si no concuerdan, alguna de las dos está viciada.”

Y remacha:<sup>44</sup>

“De este tenor se encuentran algunos casos de los más principales del estudio del Mariner, sin embargo del cuidado de los Maestros que lo cultivaron; no por falta de la ciencia, sino de la confrontación con la práctica.”

“Una de las primeras, y aun mas importantes dudas que se me presentaron en mis combinaciones fue sobre el andar del Navio. Según la theórica (*Bouguer*) no puede tomar, aun suponiéndole de los mas veleros, mas velocidad que la 100/356 de la que tubiere el viento, y esto navegando con todo el velamen, y á Popa, ó viento largo, cuyos dos casos parecen indiferentes para el Autor.”

El proceso que sigue nos confirma su motivación científica, por más que los temas y problemas que resuelve pertenezcan a la Arquitectura Naval:

Indaga el efecto del viento según los experimentos de Mariotte y Derbam y comprueba que no resultan las velocidades del navío que da Bouguer

“Esta falta de correspondencia me pareció, á primera vista, que podría depender de algún error en el cálculo, pero formadas nuevas fórmulas, como se verán en el Cap.I. del Libr.4. Tom.2 de esta Obra, solo sirvieron para confirmarle.”

Investiga la validez de las observaciones de Mariotte y Derbam, y para ello recurre a la experimentación:

“Era preciso ver si esta velocidad no sería quizás mayor, en cuyo caso nos acercaríamos mas á las determinaciones del cálculo. La experiencia era solamente la que nos había de sacar de esta duda”

Los resultados le confirman que:

“Es preciso y evidente, que la theórica enseñada sea falsa, ó por mejor decir, que lo sean los principios ó suposiciones sobre que se fundó.”

“Todo el error debía recaer, por consiguiente, sobre suponer que las fuerzas, ó lo que es lo mismo, las resistencias de los fluidos fuesen como los quadrados de sus velocidades, y senos de incidencia. Este principio estaba sin embargo recibido de los primeros Geómetras y Physicos de la Europa, ó generalmente de todas las Academias creadas en

ella, y con tanta razón y aplauso celebradas: esta consideración debía causar el mayor respeto, y quizás una entera separación de mayores exámenes, á no vernos autorizados de los mismos Geómetras para dudar.”

Comenta las dudas de Newton sobre sus propias experiencias sobre la resistencia y las de Euler sobre sus conclusiones así como el efecto de la elasticidad que estudia Daniel Bernoulli y concluye que:

“Menos extraño debe aun hacerse todo esto si se considera que en las theóricas expuestas no se supone el fluido sino destituído de toda gravedad, y por consiguiente de toda presión de unas partículas respecto á las otras”

Por lo que se alinea con la confesión de Robins<sup>45</sup> de que “la resistencia de nuestros fluidos no pueden ser como la theóricas las describen regularmente.”

Esta convicción, este descubrimiento, son la razón del *Examen Marítimo* y también la explicación de su título, como destacamos en la declaración del mismo Juan:<sup>46</sup>

“Ya no debemos, pues, extrañar que la velocidad calculada, y que deben tomar los Navios, esté tan apartada de la que realmente toman: los supuestos sobre que se fundó son falsos; pero no es esto aun la peor consecuencia: si la resulta en la velocidad es tan sumamente errónea, cómo podemos asegurar tampoco ninguna de las demás deducciones, ya sean de los ángulos que deben formar las Velas, con el viento, el del Timón, ni tampoco la deriva, ni los aguantes de Vela, y demás acciones del Navio ? Todo debe estar viciado, ó á lo menos debe discurrirse así. El asunto pedía un serio *examen*, y este es el mismo que me propuse, sin escusar trabajo ó fatiga.”

Aquí tenemos enunciados los temas que desea investigar y aclarar:

La fuerza del viento en las velas  
La curvatura de las velas  
La fuerza del agua sobre el casco  
La deriva  
La escora  
La acción del timón  
El balance y el cabeceo  
La maniobra de las velas  
El aguante de vela  
El efecto de las olas y golpes de mar  
El quebranto

Para examinarlos, procede de acuerdo con su formación científica, como él mismo explica (p.xxiii):

“Era menester empezar por seguras experiencias, que acreditasen la duda de las resistencias: buscar después, por vías diversas, ó por las mismas con que actúa la Naturaleza, otra theórica de ellas; y últimamente examinar si esta convenía, no solamente con la marcha de los Navios, sino con todas sus acciones, y asimismo con todos los efectos ó movimientos que en la Naturaleza se observan. El empeño, aunque arduo, produjo aun mucho mas de lo que yo mismo esperaba.”

“... puesta la misma área ó tabla cortada en paralelogramo rectángulo, con su lado mayor horizontal, padecía mucha menos resistencia, que puesto el propio lado vertical: es observación utilísima para la Marina, y que hasta ahora á nadie se le ha ofrecido, no obstante ser consecuencia clara de la gravitación (...) porque mayores columnas de peso cargan, mayores deben ser también las resistencias á mayores profundidades. Las diferencias que de solo este hecho resultan son tan excesivas, que no podía menos de variar con extremo todo lo hasta ahora calculado”

“A mas de esto manifestaron las experiencias claramente, que no seguían las resistencias la ley de los quadrados de las velocidades, y senos de ángulos de incidencia, sino próximamente la de las simples velocidades y senos de incidencia, según lo manifestaron también las experiencias del *Cavallero Newton*.”

“Ya se tenia con esto seguridad del error que se padecía en las resistencias theóricas establecidas, y recibidas en general, aunque con las dudas, tropiezos é imperfectas ilaciones que se han visto. No bastaba aun esto, era precisa la nueva theórica que diese iguales consecuencias, sin ello no se podía introducir en el cálculo.”<sup>47</sup>

Y resume su hallazgo así:

“Por esta nueva theórica las resistencias son como las densidades de los fluidos, como las áreas chocadas, como las raíces quadradas de sus profundidades en los mismos, y como las simples velocidades, y senos de incidencia con que se chocan.”

“quando hubiere parte de aquella fuera, resulta una nueva cantidad en la resistencia, que no tiene dependencia alguna con el área chocada, y que solo resulta de la velocidad; pero no es como las simples velocidades, ni como sus quadrados, sino como sus quadrados-quadrados. En ocasiones resulta también otra tercera cantidad, que es como los quadrados, de las velocidades, y como las superficies chocadas, que corresponde precisamente al caso que hasta ahora se ha dado: y aun en otras otra quarta, que ninguna dependencia tiene de las velocidades, sino solo de las áreas chocadas. En general las resistencias, según esta theórica, dependen de quatro cantidades distintas, de las quales, según las ocasiones, se desvanecen algunas; y por dicha, para el asunto de la Marina que nos proponemos, quedan de ordinario en solo una, que es la primera de las referidas; aunque en las ocasiones de muchísima velocidad no podemos escusar el hacer atención á la segunda: por lo que toca á la tercera, única de que se ha hecho caso hasta el presente, es por la ordinario inútil.”<sup>48</sup>

Y así, “ya se tenía con esta confrontación un cimiento del edificio”<sup>49</sup>

Comprueba la conformidad de su teórica con las cometas y con las experiencias de Smeaton<sup>50</sup> y aborda el estudio de los efectos que su nueva teórica tendrá en los demás temas relacionados con la respuesta de las naves en la mar.<sup>51</sup>

“Ya teníamos con esto corregido el error de principio: faltaba entrar después en el examen de una materia dilatadísima, y se puede decir mas que nueva, porque de ordinario cuesta mas trabajo corregir un vicio que plantear de nuevo la obra. No se limitaba el error á solo las velocidades, como hemos visto, era conseqüente que lo hubiese en la deriva y en los ángulos que deben formar las Velas con la Quilla, y con el

viento, y en los aguantes de Vela, porque todo esto depende de la relación de las resistencias, y esta variaba tanto”

“Extra de esto, no eran solo las velocidades del Navio en lo que se tropezaba: el gobierno era otro asunto en que se veían igualmente algunos errores.”

“En la práctica el eje de las resistencias está próximamente más a Popa que el de la fuerza motriz, yendo con todo el Velamen, de  $\frac{1}{7}$  de toda la longitud del Navio, y por consiguiente, debía arribar este de continuo, y con gran fuerza, según lo enseñado; pero al contrario, el Navío es más propenso á orzar, particularmente con viento fresco: es, pues, preciso que haya algún vicio en esta theórica, ó que se hayan omitido en ella algunas consideraciones esencialísimas: en efecto se encuentran dos, una la curvidad de la Vela, que conduce el eje de la fuerza motriz mucho mas á Popa: y otra la inclinación del Navio, que lo conduce mucho mas.”

“El balance y cabezada no es asunto donde haya tropezado menos la theórica hasta ahora dada: en ella no se considera mas acción que la que resulta de un movimiento oscilatorio, supuesto el Navio un péndulo, y en esta inteligencia, todos sus balances y cabezadas deben executarse en el mismo tiempo: ninguna relación se ve que tenga, en este supuesto, el balance con la ola, sin embargo que es su verdadera causa: (...) de suerte, que se hace de admirar como se ha podido creer y admitir tan generalmente iguales errores. En estas acciones no se han considerado tampoco los efectos de las olas ó golpes de Mar, y parece que los cálculos no se han propuesto sino para Mares de delicias, no para las que pasan por encima de los Navios, que los inundan, y que los hacen perecer.”<sup>52</sup>

Termina su discurso justificando la redacción del Tomo 1º:

“De todos estos errores, y algunos mas que, por no dilatarnos, excusamos referir, hemos procurado libertar nuestra theórica; pero para exponerla nos faltaban muchos documentos de mecánica, particularmente sobre la acción y movimiento de los fluidos. Pensamos, pues, por esto en exponerlos desde los principios, incluyendo todo lo que igualmente conduce a la theórica de las Machinas simples y compuestas, sus fricciones, choques de cuerpos, y sus acciones, pues todo es propio de la Marinería, y conducente á la resolución de tan intrincadas soluciones como las que se verán.”<sup>53</sup>

## 6. RECORRIDO POR EL *EXAMEN MARÍTIMO*

La nueva lectura de esta obra de Jorge Juan para esta ocasión nos ha provocado hacer las observaciones y comentarios que presentamos en este capítulo, siguiendo el orden del texto. Hemos elegido aquellos parajes que, a nuestro entender, mejor pueden ayudar a comprender la aportación de Jorge Juan en cada uno de los tomos, ya sea porque los hallamos novedosos o porque contradicen a otros autores. Para facilitar la lectura evitamos el uso de las itálicas para las palabras del autor, que recogemos entre comillas y en párrafos con sangría.

Se trata aquí sólo un recorrido analítico de la obra. Dejamos para otra oportunidad el contrastar sus fórmulas, y sus cálculos, con las teorías actuales, así como comparar la teórica de Jorge Juan con las de los autores que acepta o que critica.

### **Tomo primero**

## Libro primero

P.79. Escolio 1, Prop.25

Corrige a Bouguer y generaliza la acción de dos fuerza opuestas cuando no son iguales ni perpendiculares a la línea.

p.80. Escolio 2, Prop.25

Corrige a Juan Bernoulli y Bouguer por la situación del eje de rotación, que no indagaron mas que en el primer instante de ponerse en movimiento el sistema.

p.87-89. esc.4, Def.43

Sigue a Juan Bernoulli en la definición de las fuerzas vivas y muertas

p.117. Esc.1, Cor.3, Prop.42

Usa las experiencias de Gravesande sobre la greda.

p.119. Esc.3, Cor.5, Prop.42

Extiende la aplicación de su teórica a las cuerdas tensas

p.134. Esc. Cor.5, Prop.46

Demuestra que el centro de oscilación y el centro de percusión no son el mismo, como enseñaron los Autores Christian Wolf, Stone, Gravesande y sólo sospechó Juan Bernoulli.

p.140-144. Prop.48

Calcula el tiempo de caída de un cuerpo por una Cicloide y asimila el péndulo a un círculo degenerado en una Cicloide.

p.149. Def.45

Asimila la fricción a una percusión sobre las escabrosidades de la superficie.

p.158. Esc.2, Cor.18, Prop.51

Aplica la teórica de las escabrosidades para explicar las experiencias de Amontons<sup>54</sup> y Bilfinger<sup>55</sup> sobre fricción, cuyas determinaciones eran erróneas.

p.165. Escolio, Prop.57

Aquí encontramos que Juan se equivoca, cuando dice:

“Leonardo Euler, en una de sus Memorias de la Academia Real de Berlin del año 1748, sobre el método en que se puede concebir la fricción, concluye, que es esta menor en el caso del movimiento, que en el del equilibrio; lo que es enteramente contra nuestras conclusiones.”

Estamos de acuerdo con Euler cuando dice que una vez que se ponga en movimiento, acelera este con gran prontitud, y que por consiguiente es preciso que la fricción disminuya, porque si acelera es que hay fuerza sobrante, mayor que la que tuvo que vencer para arrancar.

p.183. Esc.1 y 2, Prop.65

Desarrolla la teoría de la Cuña a partir del plano inclinado y halla una fuerza para que hienda menor que los otros Autores. (**Fig.41**)

p.196. Esc.1, Cor.7, Prop.73

Demuestra que la situación de la palanca, o el ángulo del manubrio, con el radio de la resistencia, alteran el valor de la potencia, lo que han ignorado generalmente los Autores de Mécanica con el error de suponer indiferente esa posición. (**Fig. 45**)

## Libro segundo

Este Libro ha sido estudiado con todo detalle por Julián Simón Calero<sup>56</sup>. Es la base del cálculo de las resistencias, que es el tema esencial de la Arquitectura Naval científica.

P.231-241. Escolio, Prop.17

Halla la fórmula de la resistencia de un diferencial de superficie al moverse.

$$\pi = (m.db.da.Sen. \chi / Sen.\eta). [\sqrt{(D+a).Sen.\omega \pm \frac{1}{2} u.Sen.\theta}]^2$$

“Pero por muy simple que sea la theórica que hemos empleado, no dexará de combatirse con muy sólidos fundamentos, si la práctica no los verificara por cuantos medios se proporcionan. Estos tropiezos han hecho el asunto, en todos los tiempos, de la mayor dificultad, y los más célebres Geómetras confiesan que sólo han procurado satisfacer, sin haberlo conseguido enteramente.”

Jorge Juan confía la demostración de su teoría a la comprobación experimental y critica lo que han dado otros autores como Wallis, que valora la resistencia como la simple velocidad; Euler, cuya fórmula dice es absurda “pues da un peso de líquido espantoso”; Daniel Bernoulli, que concluye (1727) “que no siendo el fluido elástico la resistencia será igual a la dupla columna del propio fluido cuya base es la superficie y la altura aquella de donde debe caer para obtener la velocidad con que se mueve; pero si el fluido fuere elástico, la resistencia será la cuádrupla columna, o duplo de la primera.” Alaba el análisis Newton, que la resistencia es “en razón duplicada de las velocidades”. Pero discrepa de sus experiencias, con las que no explica esta suposición tampoco, y añade “que se necesita especular”.

p.240

Concluye Juan:

“Qué lejos se estaba de llegar al verdadero conocimiento de las fuerzas por los caminos que hasta ahora se han conducido, se hará aún más evidente quando por nuestra theórica se vea demostrado, que las resistencias no siguen, ni la ley de las simples velocidades, ni la de los cuadrados, sino que varía según las circunstancias, y disposición de las superficies impelidas por los fluidos.”

p.257. Esc.1, Cor.4, Prop.29

Calcula dos Fuerzas distintas para la resistencia:

Si se mueve sólo el fluido: **F = m.b.e.D**

Si se mueve sólo la superficie: **F = 4.m.b.e.D**

Con  **$\frac{1}{8} u = \sqrt{D}$**

“Aquí se ve claramente cuán distinto es que se mueva la superficie, o que se mueva el fluido. Sin embargo, no conozco Autor que no haya supuesto hasta



ahora que es lo mismo lo uno que lo otro: ó que no haya supuesto que siempre suporta el propio peso la superficie.”

p.250. Esc.2, Cor.4, Prop.29

Denuncia el absurdo de Newton en la **Fig.60**,

“que supone que cuando el fluido cae libremente por la gravedad, la superficie sufre solamente un peso igual á la mitad de la columna del fluido, cuya base es b.e y la altura D, lo que no es sino la mitad de lo que hemos deducido.”

p.269. Escolio, Cor.4, Prop.36

Comprueba que su fórmula  $F = k \cdot (8 \sqrt{a} \pm u \cdot \sin \theta)^2$  se valida con las experiencias de Mariotte en el Sena. Pero discute que las experiencias de Mariotte se las interpreta mal y difieren de las que él mismo practicó para certificarse.

Vemos aquí la faceta de Jorge Juan como el experimentador cuidadoso, riguroso y crítico.

p.342. Esc.2, Cor.1, Prop.62

Halla una velocidad de las olas Cicloidales que difiere de Newton:

Newton:  $Vel = 8 \cdot \sqrt{b} / c$

J-Juan:  $Vel = 8 \cdot b / (\sqrt{a+b} \cdot c)$

La ola de Juan está basada en la geometría de la Cicloide; la ola de Newton no es cicloidal.

p.353. Esc.3, Cor.3, prop.67

Euler y Bouguer sólo han calculado los Momentos que padece un paralelepípedo cuando está en reposo. J-Juan calcula el Momento en movimiento que resulta con un valor considerablemente mayor, debido a las resistencias del fluido al escorar y al avanzar.

p.372. Esc.3, Cor.7, Prop.74

Bouguer sólo estudia el momento de escora del paralelepípedo con ángulos pequeños, y su ecuación resulta inválida cuando saca del agua una arista del fondo. Por tanto llega a conclusiones erróneas. También se equivoca Bouguer al considerar la flotación escorada con un área constante, lo que sólo se puede aceptar en escoras pequeñas.

Juan, como Euler, estudia la estabilidad con grandes ángulos de escora, Bouguer se centra en la inicial para su discusión.

.

p.397. Esc.4, cor.4, Prop.84

Jorge Juan da 440 líneas del Pie de París para la longitud el péndulo bate-segundos a la orilla del mar en España, o bien las líneas del pie Inglés, pero no del Pie de Burgos.

Tal vez sea una muestra del carácter europeo de la ciencia española de entonces.

## **Tomo segundo**

El extenso resumen que incluimos a continuación es un recorrido del texto original para destacar lo que encontramos más interesante del autor, por su importancia, su novedad o su crítica. Constituye el centro de nuestra respuesta al encargo que recibimos de la Academia de Ingeniería y por tanto lo conservamos como parte de nuestro discurso en lugar de llevarlo a un apéndice junto con el anterior.

Reproducimos los títulos de los Capítulos para seguir con ellos el hilo de las ideas del autor y transcribimos sus palabras entre comillas, respetando su grafía en lo posible. Hemos utilizado el símbolo (...) para indicar saltos en el texto y [...] para señalar los que añadimos para aclarar algo.

## **Libro primero**

### De la Construcción de la Nave

Jorge Juan se dirige a los Marineros, y va presentando los nombres de las partes del barco con la explicación “que los Marineros llaman”. Llama la atención que tenga que explicárselo a quienes se supone que va dirigida la obra, a no ser que los destinatarios de su texto fueran legos en las cosas de la mar, en cuyo caso el texto tendría un nivel y una complejidad inadecuados. Bouguer, que no era marino como Jorge Juan, en su *Traité du Navire* utiliza las mismas expresiones y se dirige a los Marineros, pero él no lo era.

A lo largo de este tomo se introducen los términos y expresiones marineras siguientes: timón, cubierta; vela redonda, latina, cangreja, verga, maniobra; eslora y manga, roda, codaste, quadernas; línea del fuerte, obra muerta, obra viva, cuerpo principal de la Nave, reverses, línea de arrufo, línea del galón; Plan de Quaderna, *Whole Moulding* (por gálibo único); proyecciones longitudinal, transversal y horizontal; plan; cucharro; alterosas, portas, batería desahogada; Arco o vuelta del bao de 1/48 de su luz; sollado; alcázar, toldilla, castillo, caña del timón, cruz (por yugo); aguante de vela; balanza y cabezada (por cabeceo); quebranto; trozas, obenques, estay, bracear las mayores; salir a barlovento. Sin embargo, usa profundidad y no calado (lo mismo que Bouguer y Euler) y derecha e izquierda en lugar de estribor y babor, lo que resultamenos comprensibles en un Marino. Esto podría indicar que la obra se explicara para lectores profanos, o a los alumnos nuevos en las cosas de la mar.

Además de los Marineros, se refiere a los Constructores, los Theóricos, los Geómetras.

Cap.1. De la Nave en general, y de sus propiedades

Cap.2. De la infinita variedad de Buques que pueden resultar, y de la fábrica del cuerpo de la Nave, según el uso más antiguo práctico.

Define la suavidad de formas como “línea bien seguida y sin tropezón o repentina oquedad”

Como Bouguer, dice que como hay infinitas líneas hay infinito número de Naves.

No menciona el uso de la Quadra y la Mura y los Redeles en España para definir las formas, lo que ya era usual en el s.XVI y estaba explicado en las Ordenanzas de 1618 como la base de la definición de las formas.

Se percibe también que no conoce la práctica de la Construcción, o que no ha leído las Ordenanzas de 1618 u otros textos del s.XVII cuando explica el uso de las plantillas pero no menciona los nombres de ellas, de las Grúas y de los varengues tradicionales. Habla de la *Joba* pero sin nombrarla, a pesar de su importancia y cómo se explicaba su uso en las Ordenanzas desde 1618.

Cap.3. Del modo de describir los Planos de las Fábricas expuestas en el Capítulo antecedente.

La quilla se traza horizontal

La caja de cuadernas, con la Popa a la izquierda, ya está adoptado por todos.

Critica la práctica Francesa de dar mucho más astilla muerta, creyendo que así el navío es más veloz y más velero. Pero demuestra en \$58, Lib.2, Tom.I que ambas cualidades no van juntas.

Critica que haya que corregir los planos para conseguir alisar las formas y define el concepto de Quaderna alisada como “regular, libre de tropiezos, corcobas, codillos o repentinas oquedades.”

Cap.4. Del modo de describir los Planos según hoy practican los Constructores más especulativos y prácticos.

Declara su preferencia por el trazado Inglés, por *especulativo*.

Explica cómo corregir los bollos de las formas.

”El método Francés (Cf. DuHamel) asegura la curvatura de las maestras, pero no por ello quedan bien descritas las Quadernas, ni resultan de satisfacción las secciones horizontales. Es preciso, como en los demás métodos, venir a tentativas, y lo que es más, es preciso practicarlas también muchas veces, con las Quadernas comprendidas entre la Mura y la Quadra.”

Cap.5. Del modo de describir el cuerpo de la Nave geoméricamente, y todas las Quadernas con arcos de círculo.

Acomete el estudio del método perfecto, “sin tentativas, usando los métodos que la Geometría ofrece.”

Parte de un sólido de revolución, como un elipsoide con eje paralelo a la quilla y luego curva el eje en el plano vertical y en el horizontal hasta conseguir sus formas, con lo que asegura la suavidad de la carena. En su obra, Bouguer lo preconizaba para calcular con facilidad y aproximación el volumen de la carena.

Rehúsa entrar en los temas prácticos de la Construcción:

“Se omiten algunas pequeñas atenciones, que deben tenerse igualmente presentes en la descripción de los planos ó proyecciones, como es el hallar los precisos puntos donde han de rematar las tablas, y aquellos por donde se han de tirar las Maestras, así como la descripción de la verdadera figura que éstas tienen, y sirve para hallarlos abatidos, ó declive que han de tener las maderas en sus gruesos, pues todo esto pertenece a los Tratados de Práctica, en que es menester extenderse con particularidad: lo que no debemos incluir aquí para no confundir tantas especies como dicta la Theórica.”

Prescinde de todo tratamiento de la Construcción, que deja para la Práctica, pero una Práctica que no es la que contempla el Examen en su Título, que se refiere a la aplicación de las Teorías que desarrolla.

Omite, sin embargo, un punto esencial: que las tablas del forro no necesiten de conicidad ni de alabeo.

Cap.6. Del modo de describir en los Planos ó proyecciones las obras muertas.

Tras explicar el método inglés y el método francés, añade: “Podemos también construir las obras muertas siguiendo nuestras reglas geométricas”, es decir, a partir de la deformación de un sólido de revolución. Y termina justificándolo:

“La theórica de esto está fundada en los mismos principios dados en la descripción de los fondos, con que podemos escusar el repetirla. Con ella se evitan enteramente los tropiezos que resultan siguiendo el méthodo Ingles, y los costados se tiran con toda propiedad, siendo el todo de las Quadernas perfectos arcos de círculo, que se describen fácilmente; lo que .no se consigue por el méthodo Francés.”

No utiliza la palabra *carena* más que una vez, y es para designar la operación de carenar. Se refiere a las obras vivas como los *fondos*.

#### Cap.7. De las Cubiertas.

Valora positivamente la práctica de los Constructores que dan el francobordo necesario a las portas.

“En fin, de qualquier forma que sea, los Constructores tienen establecida por regla general la altura que debe tener la cubierta sobre la Quilla, que por lo ordinario les ha dictado la misma práctica , ó las lecciones de sus Maestros, sin embarazarse regularmente en si añaden ó quitan algo del volumen del Navio: de que resulta muchas veces, que sus baterías no salgan de la elevación que desearan; no obstante , las theóricas que hasta hoy se han publicado, han dado luces para que ya se haga atención por los mas expertos Constructores de asunto tan importante, y por tanto tienen en ello mejor acierto.”

Jorge Juan justifica el arrufo de las cubiertas, de L/36 a L/72, para prevenir la caída que tendrán los extremos cuando el casco sufra el inevitable quebranto. No para evitar el quebranto, como se ha interpretado o han defendido algunos (se refiere a Bouguer).

De nuevo declara que no es su asunto la Construcción:

“En quanto á las demás individualidades y atenciones que se deben tener en la fábrica de las cubiertas, nos remitimos á los Tratados Prácticos, porque son dilatados, y fuera del asunto que nos hemos propuesto.”

### **Libro segundo**

Examen del cuerpo del Navío, de sus centros, y de las fuerzas, resistencias, y momentos que padece.

#### Cap.1. De la flotación del Navío, de su línea de agua, de su peso total, y del de su casco.

Reconoce la buena práctica de los Constructores, formados en la experiencia, pero insuficiente para resolver las variaciones de los proyectos en dimensiones, formas y materiales.

“Los Constructores con la continuada práctica de tantos años, y con la tradición que de unos á otros ha pasado, saben ya con corta diferencia la línea de agua en

que debe quedar su Navio, y la disposición en que se ha de establecer. Supuesto que por muchas tentativas y experiencias se haya hallado la disposición mas ventajosa de flotar un Navio, no hay tropiezo en fixar la misma para otro enteramente semejante, y de igual peso y magnitud al primero (...) pero de ordinario se practican variaciones (en las medidas, el peso de maderas y otros materiales), y por ellas queda incierto el estado y disposición que convendrá dar á la Embarcación.”

“Los Constructores que ya tienen alguna especulación, se valen de los principios de la Hidrostática.”

El libro tiene un enorme valor añadido, por cuanto aporta, analiza y contrasta los datos reales de los Navíos de 70 y de 60 cañones y de una Fragata de 22, del propio sistema propuesto por Jorge Juan.

Cálculo para Geómetras:

“El cálculo del volumen de fluido que desocupa el cuerpo del Navio, para un Geómetra, ninguna dificultad tiene. Todo él se puede considerar dividido en Prismas por planos verticales y horizontales, cuyo volumen medido por las reglas comunes de Geometría, dan el volumen total del cuerpo del qual se puede después cortar la parte que debe quedar sumergida.”

En el cálculo de las Hidrostáticas utiliza trapecios para integrar, y se justifica porque hace lo mismo que Bouguer.

Resulta extraño que no aplicara la integración parabólica que era conocida desde antiguo, la había publicado Thomas Simpson<sup>57</sup> en Inglaterra y era utilizada en Suecia por F. av Chapman. Sin duda es más sencillo componer sus tablas y modificarlas, y el error puede despreciarse.

Para alterar el volumen del Navío (adecuarlo a su peso) propone dar más o menos llenos a las Quadernas, aumentar o disminuir las medidas del navío, o todo a la vez.

Analiza las relaciones de las proporciones de dos navíos, dos fragatas y dos paquebotes en relación con sus pesos para concluir que “a medida que los navíos son mayores sus volúmenes y pesos tienen menor razón que los cubos de sus mangas.”

Manga en pies ingleses y Volumen de carena en pies cúbicos. Peso en quintales de 1600 onzas castellanas, con agua de mar de 1019-2/3 onzas por pie cúbico inglés:

Navíos “a la inglesa”

	Manga	Volum	Peso
N-70	48	96.500	61.499
N-60	42	68.650	43.750
F-26	33	34.782	22.166
F-22	31-2/3	25.170	16.040
P-18	26	15.740	10.031
P-16	25	11.770	7.511

Navíos franceses, que usan menos madera que los ingleses:

Continúa especulando sobre los navíos ingleses y franceses y estudia cómo repercuten las proporciones, las dimensiones, las maderas, las cuadernas y el lastre en el peso y el calado de cada barco, y cómo se comparan entre ellos.

El análisis comparativo que hace en los artículos \$110-133 constituye un verdadero ejercicio de Proyecto Naval, en el que analiza cada una de las variables que determinan el peso y el calado de los barcos, en rosca y en carga. Sin duda puede hoy usarse como ejercicio de nuestros estudiantes de Arquitectura Naval.

## Cap.2. Del centro de volumen que ocupa el Navío en el fluido.

Calcula, integrando prismas elementales, el volumen de carena y la posición de su centro, debajo del agua y desde la cuaderna maestra.

Luego calcula el nuevo centro de carena cuando se modifica el volumen, o el calado, o las formas del fondo.

“Hallado el centro de volumen, del Navio para una determinada línea de agua, conviene especular la alteración que tendrá, puesto en otra qualquiera línea.”  
(...) “no solo en el caso de sumergir mas o menos el Navio, sino también en el de alterarle su cuerpo, llenando mas ó menos sus Quadernas, ó lo que es lo mismo aumentando ú disminuyendo su volumen en qualquier parte (...) si el Navio se llenare mas en sus fondos , ó como dicen los Marineros, se le diere *mas plan*, se elevará sobre las aguas de igual volumen al añadido”

Propone también el cálculo de la variación del centro de carena cuando se modifican las formas y las dimensiones de navíos semejantes.

## Cap.3. Del Metacentro

Estudia el metacentro que define Bouguer y amplía su análisis a grandes escoras y a variaciones de las flotaciones, y deduce la aplicación a carenas semejantes. También sigue a Bouguer al representar GM con la letra K, en todo el libro.

“A mas de esto se pudiera añadir lo que el mismo metacentro sube [sobre el centro de volumen] quando se inclina el Navio de cantidad considerable; porque como los costados, al paso que se levantan sobre el agua, tienen mas salida hacia afuera, particularmente en los extremos del Navio, aumenta la cantidad  $e^3$  á medida que la inclinación es mayor : puede ir en tal caso la altura del metacentro sobre el centro del volumen [de 10-2/3] hasta 11-1/2 pies.”

Calcula el radio metacéntrico longitudinal y aplica la relación entre el transversal y el longitudinal a los navíos con carenas semejantes

Sólo calcula estos radios con barco adrizado, y para una escora o un asiento dado. Pero no “intuye” el trazado de la “evoluta metacéntrica” y sus posibles aplicaciones en el equilibrio con grandes ángulos de escora.

## Cap.4. Del centro de gravedad.

Calcula el CdG del Navío por grupos de pesos, pues:

“(…) Este cálculo se hace dilatado y penoso por el gran número de piezas y pesos de distintas figuras que se necesitan examinar; pero se puede hacer por partes: esto es, hallar primero el centro de gravedad de cierto número de ellas, y proceder con estas como en cada una separada.”

Explica la Experiencia de Estabilidad para situar G: *Dar pendoles*.

“Este cálculo es difuso si se lleva con la debida proligidad. Para la práctica de los Constructores será aun mejor hallar la situación del centro por el de otro Navio ya hallado; atendiendo después á las diferencias ó alteraciones que hubiere practicado en el suyo. Los principios expuestos nos facilitan el modo de ejecutarlo con la ayuda de una sola experiencia, que repetidas veces practican los Marineros, y llaman *dar pendoles*. Se reduce á inclinar el Navio, pasándole á un lado toda la Artillería, Balas que están sobre las Cubiertas, Caxas y Cófanos de la Tripulación, y á poner Pipas llenas de agua colgadas á los extremos de las Vergas, y sobre estas alguna gente. Con esto, por el lado que el Navio se eleva, descubre 2 ó 3 pies del costado sumergido, y se limpia esta parte., asi como el resto hasta la Quilla, con escobillones propios para el efecto. Es operación fácil, y mucho mas lo será, si solo se executa para la especulación que vamos á explicar. Se conoce el peso, de los Cañones, Cureñas y. Balas, el de los Cófanos, Pipas y gente, y se sabe también el parage de donde se quitaron, aquel donde se pusieron, con que es fácil calcular su momento, (...) la suma de los productos de todos los pesos que se transporten por las distancias horizontales que se hubieren removido.”

El traslado a las vergas no es una traslado horizontal de pesos sino un traslado oblicuo desde G, donde se habría añadido, y produce por tanto una subida de G. Aquí, Jorge Juan debe de haber supuesto que el peso de las pipas y la gente es despreciable respecto al del Navío, pero la distancia no lo es.

Aplica la sencilla relación: **Sen  $\theta$  = Momento / (BG\*Desplzmt +  $\gamma$ \*Iflot)**

Y calcula **GM = Momento / Desplazmt\*Sen  $\theta$**

Calcula cómo varía la distancia del centro de carena la de gravedad BG cuando se altera al aumentar el volumen de carena, por aumentar el calado o por llenar las cuadernas, y el efecto del lastre. Lo aplica a la Fragata de 22 y a los Navíos que viene utilizando como ejemplos, de 70 y 60 cañones, con extrapolaciones a los de 80 y de tres puentes.

Comprueba que el GM de sólo 1 ó 2 pies que da Bouguer para el navío de tres puentes es erróneo, porque en tal caso tomaría una escora 35°, que es inaceptable. El cálculo de Jorge Juan le da 8-6/7 pies y una escora de ArcSen 10/76, con lo que el navío se inclina 3-1/2 pies en el costado.

De nuevo acude a los datos de experiencias reales para validar sus formulaciones. Y de nuevo tiene delante el libro de Bouguer para seguirlo y comprobarlo.

## Cap.5. De las resistencias horizontales que padece la Nave.

Calcula las resistencias horizontales dividiendo el forro en cuadrículas.

“Aunque las resistencias horizontales que padece la Nave pueden ser infinitas, según la disposición que dieren á sus Velas, podemos reducirlas á solo dos: una la perpendicular á la Quilla, que nos servirá no solo para calcular la verdadera estabilidad y momento en la rotación que llaman *balance*, sino también para deducir en la marcha obliqua las efectivas fuerzas de que resulta: y otra, según la dirección de la misma Quilla, que servirá para iguales efectos. Como el Navio no tiene figura de cuerpo regular, habremos de reducirnos á calcular por partes sus resistencias, ó á averiguar la que padecen todas las quadrículas, en que se divide la parte sumergida en el fluido con planos horizontales y verticales.”

Comprueba que  **$\text{Sen } \theta = \text{Sen } \lambda * \text{Sen } \eta$**

$\lambda$  = ángulo de la dirección del movimiento con la base de la cuadrícula

$\eta$  = ángulo de la cuadrícula con el horizonte

Calcula la Resistencia horizontal por Geometría.

Fuerza sobre una cuadrícula (**c.a**) con velocidad **u**, densidad **m** y en el calado **D**

$$\text{Fuerza} = 1/2 \text{ m.c.a.u.} \sqrt{D} \text{Sen } \theta$$

Jorge Juan hace gala de su Geometría y construye la **Fig.32** que se basa en:

**FH = c, para resistencia transversal lateral**

**Sen BFG = Sen  $\lambda$ ; f = c.Sen  $\lambda$  = FI**

**HG = c, para resistencia Proa-popa**

**Sen HFG = Sen  $\lambda$ ; f = IG**

**MKL =  $\eta$  ; g = a.Sen  $\eta$  = MN**

**Resistencia =  $1/2 \text{ m.f.g.u.} \sqrt{D}$ ; con f = lateral ó Proa-popa**

Calcula la resistencia de navíos que, siendo semejantes, navegan con calados que no lo son.

Calcula también la resistencia debida a las desnivelaciones, pero con la sensibilibad del Geómetra concluye que:

“La resistencia que nace de la desnivelación se hace despreciable siendo corta la velocidad **u**, particularmente en las Embarcaciones grandes, donde no llega a tener valor digno de atención sino en velocidades tan grandes que no se ve en la práctica.”

## Cap.6. De los momentos que padece el Navío en su movimiento horizontal, con respecto de un exe asimismo horizontal, que llaman los Marineros aguante de Vela.

Calcula los momentos producidos por las resistencias en la deriva y la escora.



Comprueba que los momentos son como  $L^2/2$  y demuestra algo lógico: que para lograr un buen aguante de vela conviene elevar lo más posible el centro de las resistencias horizontales.

Con la sensibilidad de Geómetra, rebate el error de Bouguer y otros en suponer la sección en la flotación como la única responsable del aguante de vela

“Este [momento horizontal, que escora] en ninguna manera depende de la sección horizontal del Navio hecha por la superficie del fluido, que es la única que, con *Mr. Bouguer*, creyeron todos ser la que determinaba la estabilidad ó aguante, como en efecto la determina, según vimos ( *Capit.* 3 y 4) en el solo caso del reposo. Tampoco depende de dicha sección el momento vertical [que adriz]: ambos proceden de la figura ú disposición de los fondos del Navio: quanto mas verticales fueren estos desde la horizontal del centro de gravedad hacia arriba, tanto menor será el momento que escora y mayor el que adriz, por lo que esta disposición conviene mucho para lograr una perfecta estabilidad. La colocación baxa del centro de gravedad también conviene mucho (...) pero esta propiedad es perjudicial para el balance, como se verá más adelante.”

Cap.7. De los momentos que padece la Nave en su movimiento horizontal, con respecto al exe vertical que pasa por el centro de gravedad.

Calcula los momentos de trazado para orzar y para arribar que produce la Nave en su movimiento horizontal.

Calcula el efecto del asiento, quilla, tablazón, roda y tajamar y codaste y timón, que para el Navío de 60 cañones dan:

Momento de	+ arribar
Trazado	+23.031 m.u
Quilla	+ 5.777
Asiento	+ 5.893
Tablazón	+ 658
Codaste y Timón	+15.520
Roda y Tajamar	- 8.280
Total	+36.706 m.u,
Que es de arribar por resistencia lateral.	

Cap.8. De los momentos que padece el Navío en su rotación sobre un exe horizontal, que los Marineros llaman balance o cabezada.

Para los momentos que padece el Navío en el balance y la cabezada, una vez más Jorge Juan contradice a Bouguer y sostiene que ambos efectos se estudian igual, “pues unos y otros deben resultar de los mismos principios generales establecidos”

Expresa la velocidad angular de la rotación como  $(u \cdot dt / r)$

De nuevo se apoya en la fuerza y la seguridad que le da el haber desarrollado en el Tomo 1º todos los principios necesarios, lo que confirma que debió escribir éstos principios pensando en su aplicación, y completarlos cuando estas aplicaciones lo

necesitaran. Esto también explicaría que dilata la publicación del Tomo 1º hasta dar por terminado el Tomo 2º.

Aprovecha y aplica sus fórmulas para calcular las resistencias al movimiento de una superficie cualquiera.

Llama cabezada o arfada al cabeceo y no distingue la cabezada de la arfada, sin embargo de haber sido él mismo un *Marinero*.

Cap.9. De los momentos que padecen las partes del Navío, y que ocasionan lo que los Marineros llaman quebranto.

Justifica que la curva de pesos es casi constante en la eslora, lo que coincide con nuestros propios cálculos para varios navíos del s.XVIII.

Compara la viga-casco con una palanca, la cual estudia bajo flexión en el Tomo-1º.

Acertadamente observa para los esfuerzos de quebranto que

“esta excesiva acción solo la resisten ó suportan las fibras de las maderas que componen el Navío, su unión, enlace, trabazón y fuerza de los herrages con que se clavan.”

Y avisa, también con tino, de que:

“La debilidad ó fuerza de estas partes puede depender de dos causas principales: la una de la calidad de la madera ó intensidad de sus fibras, y la otra de la verdadera unión de unas piezas con otras, y disposición para que no se dé juego ó movimiento entre ellas.”

Y añade su comprobación experimental:

“Por repetidas experiencias hallé que un palo de roble de una pulgada en cuadro soporta, con corta diferencia, á la distancia de un pie, dos quintales.”

La teoría que aplica supone tensiones constantes de tracción y de compresión, por lo que la “intensidad de las fibras de madera” que calcula,  $f = 13.484$  quintales/pie<sup>2</sup>, debe multiplicarse por 3/2 para hallar la tensión máxima de Euler-Bernoulli, lo que daría 20.736 qt/pie<sup>2</sup> o 144 qt/pulgada<sup>2</sup> o 14.400 psi, que son unos 1.230 kg/cm<sup>2</sup>, una tensión que podría ser la de fallo de un roble de muy buena calidad.

Continúa el detallado análisis de los factores que causan y resisten el quebranto y concluye que:

Las maderas tienen suficiente fuerza para resistir el quebranto.

El que el eje neutro no esté el centro del puntal tampoco lo explica.

El alargamiento de las maderas en 2 pulgadas causa 1 pie de quebranto, que es la misma relación de la eslora al puntal.

La causa se debe temer

“del juego que pueden tener unas piezas respecto de otras: pues aunque los Constructores procuran que el todo salga de sus manos perfectamente unido; ya sea por resecarse después las maderas, ó por ceder los herrages á los esfuerzos,

siempre resulta alguna soltura, que por poca que sea en cada una de sus partes, se hace muy sensible en el todo.”

Rechaza con toda razón la pretensión de Bouguer de que las cubiertas horizontales evitan el quebranto que se produce porque tiene mucho arrufo.

Analiza que el quebranto se debe en su origen a las proporciones y figura del casco y denuncia el efecto perjudicial de los delgados y de cargar con mucho peso los extremos.

Advierte de que por la acción del Quebranto, el Navío se abre transversalmente:

“particularmente en los Navios de Guerra, que tienen el peso enorme de su Artillería sobre los mismos costados, puntos donde el sostén del fluido es ninguno: el Navio por esta acción debe abrirse , como efectivamente se abre, y se ve en las uniones de las tablas de las cubiertas, particularmente en las inmediatas al costado.”

Y de nuevo la comparación con Bouguer:

“Bouguer creyó que pudiese ser al contrario, trayendo por exemplo lo que sucede con un Vaso en figura de Góndola, que se procura torcer según su longitud; pero este caso no es precisamente lo que sucede al Navio: la Góndola para torcerla se comprime lateralmente; y al contraria en el Navio, el peso de la Artillería hacia abaxo puesta en los extremos [del bao], en contraposición de la acción del fluido en el medio y hacia arriba, tienden á abrirle.”

“Los momentos de inercia que resultan en los balances son los que producen grandísimo perjuicio. Si los consideramos, divididos en dos, unos verticales.y otros horizontales, quedarán los primeros sostenidos por las Quadernas, como antes expresamos y sin que se les siga gran daño; pero las horizontales solo los sufren las curvas, baos y pernos con que se liga el Costado, y son más fuertes quanto, mas elevada está la Artillería sobre el centro de gravedad al rededor del qual gira el Navio.”

Vemos que Jorge Juan en esta sección aborda, analiza y resuelve problemas esenciales de la Arquitectura Naval, como son los de la resistencia estructural del casco en sus diversas situaciones de servicio.

El Art.255 presenta una buena explicación de cómo se reparten los esfuerzos que produce el peso de la Artillería entre los elementos de la estructura de las cubiertas, y analiza los efectos en función de las dimensiones del Navío y de los escantillones de las piezas estructurales. Naturalmente, llega a conclusiones que conocemos pero dando valores a los parámetros que gobiernan el problema.

“El buen orden pide, que el trabajo se reparta *i* medida de las fuerzas : esto es, de las maderas que le han de suportar , que se reduce principalmente á la curveria que liga las cubiertas.”

“De todo lo qual se deduce, que los Marineros deben procurar alibiar en lo posible el peso de las segundas baterías, y los Constructores aumentar la fuerza de las curvas y pernos que las ligan.”

Termina este Capítulo con una firme crítica al análisis que hace Bouguer de este problema:

“M.Bouguer examina si conviene mas á un Navio de 70 llevar dos baterías de 24, que una de 36, y otra de 18: y sin embargo que su cálculo se estiende solo á comparar la simple diferencia de momentos que en uno y otro caso padece el todo del Navio, y no los de inercia, que son los mas fuertes, y determina en favor de las dos baterías de 36 y 18. Mucho mas habría apoyado este dictamen, si hubiera examinado la diferencia de momentos de inercia que padece cada cubierta de por sí, pues los de la segunda serian en el primer caso mayores que los de la primera en razón de los quadrados de sus distancias al centro de gravedad, de suerte que la cubierta segunda padeciera mas de tres veces mas que la primera. Esta consideración manifiesta lo perjudicial que seria practicar el remedio que expone el mismo Autor (pag.332) para evitar la rotura de los palos; pues con él quizas se lograría la del Navio, que seria mucho peor.”

### **Libro tercero**

De las machinas que mueven y gobiernan el Navío.

Cap.1. De las Velas, y de la fuerza que hace el viento en ellas.

Comienza rechazando las conclusiones de Juan Bernoulli sobre la curva que toman las velas bajo la acción del viento, ya que estaban basadas en suponer que la fuerza era proporcional al cuadrado de la velocidad:

“(…) pero esta suposición ya no cabe en la efectiva acción de ellos, como hemos visto. La intrincada theórica que resultara de formar los cálculos, atendiendo á esta curvatura, ha hecho que todos los demás Autores las hayan supuesto como planas; y aun el mismo Bernoulli no hizo sino decirnos la distinta dirección de las fuerzas resultantes que por la curvatura se deduce. En efecto la diferencia que resulta es corta; pero no tanto que dexemos de dar los conocimientos conducentes: y mas habiendo de atender á otras atenciones muy notables.”

Del Tomo 1º deduce la fuerza del aire supuesto inelástico sobre una vela:

$$\text{Fuerza} = \frac{1}{4} m.u. \sqrt{D}. \int a.c. \text{Sen}.\theta$$

**m** = densidad del aire

**D** = altura hasta la superficie superior del fluido

**c** = anchura horizontal de la vela

**a** = diferencial vertical de la vela

**θ** = ángulo del fluido con la diferencial

Saca la altura de la capa de aire D de la lectura del barómetro de mercurio y analiza la respuesta de la vela suponiéndola cuadra:

“Supongamos, para facilitar el cálculo , que esta sea un lienzo rectangular con dos lados verticales, que firme sobre estos , tome horizontalmente, con la fuerza

del viento y por su total flexibilidad, la curvatura que le sea natural, y vamos á especular.”

La **Fig.39** explica las formulaciones que siguen:

Halla la “velaria” cuya ecuación es

$$x.z = y.\log.(\cos.z)$$

que es muy distinta de la “cadenaria”.

Encuentra la Fuerza que hace la Vela de área A:

$$\text{Fuerza} = 1/20. m.A.u.h.\text{Sen}.a. [\text{Sen}.\frac{1}{2}(\Pi - \pi) / \text{Arc} \frac{1}{2}(\Pi - \pi)]$$

$$\frac{\frac{1}{2} m a u h \text{sen}. a \text{sen}.\frac{1}{2}(\Pi - \pi)}{\text{Arc}.\frac{1}{2}(\Pi - \pi)}.$$

De donde saca conclusiones muy importantes para la Navegación y la Maniobra:

“La fuerza de la Vela no solo depende del ángulo  $\alpha$  que forma el viento con la Verga, sino también de la diferencia de los ángulos  $\Pi$  y  $\pi$ , ú de la curvatura de ella, que es de donde dimanaqn aquellos, de suerte que quanto más curva sea la Vela, menor será su fuerza: y como la curvatura depende de la anchura de la Vela, de la violencia del viento, y de la tensión y calidad de la Vela, quanto mas ancha fuere, mayor sea el viento, menos estendida estubiere la Vela, y mas delgada ó flexible fuere, menor será á proporción la fuerza que hará.”

Y deduce que la fuerza de la vela plana es a la de la vela curva como el arco de  $90^\circ$  es al radio, es decir, como “ $\pi$ ”/2.

Es curioso comprobar que Jorge Juan no usa en ningún momento el número “ $\pi$ ” en sus expresiones, sino que recurre a expresiones como:

“ $r$  es la semicircunferencia del círculo, cuyo radio es la unidad.”

Calcula el centro de las fuerzas de la Vela y el corrimiento que éste experimenta hacia popa debido a la curvatura.

Como a lo largo de todo este Tomo 2º, comprueba que su teoría es conforme con los valores de la práctica náutica.

“Sentados ya los principios theóricos de la Vela, debemos indagar los ángulos que se observan en la práctica, a fin de aplicar aquellos a ésta en su debido lugar.”

Su espíritu científico lo lleva a experimentar con modelos para medir los ángulos de las velas.

“El ángulo  $\alpha$ ., así como el  $\beta$ , con que se navega á bolina, es dificultoso se midan á bordo con la prolixidad que se requiere. Para obtenerlos con alguna seguridad, recurrí á un modelo primorosamente aparejado.”

Una vez asegurada la validez de sus fórmulas, continúa su aplicación a los navíos que toma como ejemplo y calcula los centros vélicos, los momentos del viento, la deriva. Todo ello le sirve para sacar conclusiones que ayuden a decidir la posición de los palos y la maniobra del aparejo vélico para la Navegación.

## Cap.2. Del Timón

Rechaza las conclusiones de otros autores porque se fundaron en teóricas erróneas:

“La thórica de esta machina ó instrumento la han dado muchos Geómetras; pero todos se han fundado sobre el principio de ser la resistencia ó fuerza que las aguas hacen sobre él, como los quadrados de las velocidades del fluido, y senos de ángulos de incidencia. De este principio, ninguna consecuencia pudieron sacar sobre la figura mas ventajosa que el Timón debe tener, y sin embargo la práctica ha manifestado que es la de un trapecio, mas estrecho por arriba que por abaxo, tal como lo practican todas las Naciones, y como lo supusimos (§182).”

Analiza el efecto del timón con cada uno de los factores que pueden concurrir en la Navegación: la deriva, la velocidad, la altura del codaste, el orzar y el arribar, y deduce que el ángulo óptimo para dar la mayor fuerza de gobierno.

**Fuerza perpendicular a la quilla =  $\frac{1}{15}m.u. \sqrt{a. (4.A+g.a). \text{Sen}(\lambda + \epsilon). \text{Cos}.\lambda}$**

**m** = densidad del agua  
**u** = velocidad del Navío  
**g** = base del timón  
**a** = altura mojada  
 $\lambda$  = ángulo de la pala con la quilla  
 $\epsilon$  = ángulo de deriva

Y comprueba que sus cálculos coinciden con la práctica de los timoneles:

“De esto se concluye, que la fuerza que puede hacer el Timón por sotavento es siempre mayor que la que puede hacer por barlovento: esto es, que su fuerza para arribar puede siempre ser mayor que la fuerza para orzar: es asunto que los Timoneles verifican todos los dias, particularmente con viento fresco.”

Pero como el gobierno depende del momento que causa la virada,

“No basta para el gobierno del Navio atender á la fuerza que produce el Timón: es preciso considerar su momento; esto es, el producto de su fuerza, por la distancia horizontal desde el centro de aquella al exe vertical que pasa por el centro de gravedad del Navio, que es sobre quien se executa la rotación.”

## Cap.3. Del Remo

Al incluir este Capítulo, Jorge Juan se alinea con los otros autores que tratan de la Maniobra. No hay que olvidar que en esos años todavía navegan galeras en las naciones europeas, y que otras embarcaciones menores a remo siguen siendo necesarias en las armadas y en la industria marinera.

“A medida que el Remo parece simple, se ensalza ó eleva á mayor grado su theórica: No nos detendremos en explicar las muchas equivocaciones que en ella han padecido, no solo los antiguos» sino también los Geómetras modernos de la mayor reputacion, que escribieron después de lo que ya habían dado sus predecesores.”

En las notas de Jorge Juan se resumen sus ideas, que difieren de las de Bouguer y coinciden con las de Euler. El desarrollo que presenta es una aplicación de la Mecánica, en la que trata las fuerzas, los momentos, la fatiga del remero y llega, una vez más, a una formulación de la velocidad que puede alcanzar la embarcación movida a remo (§313) la cual comprueba que concuerda con la práctica marinera.

Anota Jorge Juan:

“Mr. Bouguer, en su *Tratado del Navío* ( Lib.1, Sec.1, cap.4, pag.110) pretende, que quanto mas corta sea la parte exterior del Remo, aumentando la pala á proporción, para que su momento sea siempre el mismo, mayor será la velocidad de la Embarcación; baxo este principio funda todo su cálculo, que por consiguiente ha de llevar consigo el mismo vicio. (...) equivocación que nace de no haber considerado dichos momentos sino como simples, y no como momentos de inercia, com» efectivamente lo son. (...) todo es notorio á los Marineros, y lo mismo al Geómetra que quiera considerarlo. (...) La poca práctica hace caer de ordinario á los Geómetras en estas equivocaciones; ya veremos breve, que en el caso de una pala infinita en que quiere Mr. Bouguer que la velocidad del Barco fuera también infinita, está tan apartado de la verdad, como que esta será cero, A mas de esto, y de muchas atenciones precisas que omite, depende cambien su cálculo del principio en que se suponen las resistencias del Barco como los quadrados de las velocidades: y por consiguiente conduce á nuevas resultas.no menos apartadas de la realidad que se busca.”

Y de Leonardo Eulero anota que,

“en las *Memorias de la Academia Real de Berlín*, Tomo 3, año 1747, trae la theórica del Remo con gran atención, advierte la equivocación de Mr. Bouguer, y añade muchas consideraciones precisas; funda su calculo sobre el mismo principio de ser las resistencias del fluido como los quadrados de sus velocidades: (...) Esto mismo se hallará en más superior Obra del Autor, intitulada *Sciencia Navalis*.”

La velocidad que alcanza la embarcación a remos es:

$$u = \frac{2V \tan b (a+b) \left( K - \frac{GP}{a} + \frac{mcb}{a} \right)}{TmRb' + a' \tan \left( K - \frac{GP}{a} + \frac{mcb}{a} \right)}$$

- a** la longitud del guion, ú distancia desde el bordo al punto donde aplica su fuerza el Remero ú Remeros;  
**V** la velocidad con que estos mueven sus manos.  
**K** la cantidad de peso equivalente que debiera levantar el Remero con la velocidad **V**, para hacer la misma fuerza que ejerce en el extremo del guion.  
**m** la densidad del fluido.  
**u** la velocidad del Barco.  
**mRu** su resistencia en la Proa ú total.  
**a** la distancia desde el bordo al punto inmóvil del Remo.  
**b** la distancia desde el bordo al punto donde se reúnen las fuerzas ó resistencias de la pala.  
**V** la velocidad de este mismo punto.

- parV** la resistencia de cada una de las palas.  
**n** el número de los Remos.  
**T** el tiempo que pasa entre una palada y otra.  
**t** el que emplean los Remeros en actuar cada palada.  
**G** la distancia que hubiere desde el bordo al centro de gravedad del Remo.  
**P** el peso del Remo.  
**e** el espacio que ocupa la pala en el agua.

#### Libro cuarto

De las acciones y movimientos del Navío.

Sus 102 páginas constituyen la parte más cuidada del Tomo 2º y son un tratado completo de la Arquitectura Naval de los veleros, de aplicación inmediata para su proyecto y su análisis.

En este Libro 4º resume toda su teórica anterior de la acción de las velas y la aplica al buque, para determinar la velocidad directa y lateral, la deriva, y la ganancia de barlovento, así como para conocer los efectos en las escoras y asientos y en el gobierno y las viradas.

Cap.1. Del andar ó movimiento progresivo que da al Navío el impulso del viento en las Velas: y del rumbo que le obliga a seguir.

Vuelve a insistir en que la velocidad del navío y la del viento son comparables y por tanto invalida los desarrollos teóricos precedentes.



“Casi todos los Autores que sobre esto han tratado, á excepción de algunos (MM. Parent y Jacobo Bernoulli) además del falso principio sobre las resistencias en que se han fundado, han supuesto que la velocidad del viento es infinita respecto á la que toma el Navio, llevados naturalmente de lo que con ello se facilita el cálculo; pero esta suposición esta tan sumamente apartada de la realidad, como que en los Capítulos sucesivos se verá, con grande admiración, que el Navio puede, bien dispuestas sus Velas, tomar, y aun toma una velocidad casi igual á la del mismo viento que le impele.”

Y en algún caso se verá que hasta la supera

Las **Figs. 46 y 47** son simples y claras para la explicación de la velocidad relativa y de la salida a barlovento

Deduce las fórmulas para las cuatro velocidades que calcula: directa (**u**), lateral (**v**), oblicua (**w**) y de salida a barlovento (**W**)

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{GA^2 RV \text{sen.}(\beta - \delta)(\text{sen.} \gamma \text{cos.} \beta - \text{cos.} \gamma \text{sen.} \beta)}{GA^2 (R - r) \text{sen.} \beta \text{sen.}(\beta - \delta) + r(GA^2 \text{cos.} \delta + 20R)} \\
 v &= \frac{GA^2 r V \text{cos.} \beta - \delta)(\text{sen.} \gamma \text{cos.} \beta - \text{cos.} \gamma \text{sen.} \beta)}{GA^2 (R - r) \text{sen.} \beta \text{sen.}(\beta - \delta) + r(GA^2 \text{cos.} \delta + 20R)} \\
 w &= \frac{GA^2 V (R^2 \text{sen}^2(\beta - \delta) + r^2 \text{cos.}^2(\beta - \delta))^{\frac{1}{2}} (\text{sen.} \gamma \text{cos.} \beta - \text{cos.} \gamma \text{sen.} \beta)}{GA^2 (R - r) \text{sen.} \beta \text{sen.}(\beta - \delta) + r(GA^2 \text{cos.} \delta + 20R)} \\
 W &= \frac{GA^2 V (R \text{cos.} \gamma \text{se.}(\beta - \delta) - r \text{se.} \gamma \text{cos.}(\beta - \delta)) (\text{se.} \gamma \text{cos.} \beta - \text{cos.} \gamma \text{se.} \beta)}{GA^2 (R - r) \text{sen.} \beta \text{sen.}(\beta - \delta) + r(GA^2 \text{cos.} \delta + 20R)}
 \end{aligned}$$

Que usan las variables siguientes:

**A**<sup>2</sup> el área de todas las Velas.  
**V** la velocidad del viento.  
**u** la velocidad directa del Navio.  
**v** la velocidad lateral.  
**w** la velocidad obliqua.  
**W** la velocidad con que sale á barlovento.  
**α** el ángulo que forma el viento con la Verga.  
**β** el ángulo que formare la Verga con la Quilla.  
**γ** el ángulo que formare el viento con la Quilla.

**R, r** = coeficientes de resistencia lateral y directa

**δ** = ½ (Π - π) - α, efecto de la curvidad de la vela

**G** = Sen. ½ (Π - π) / Arc ½ (Π - π), la “curvidad de la vela

Procede luego a analizar las fórmulas y saca conclusiones como:

Que es mejor vela la tiesa que la flexible, porque aumenta todas las velocidades excepto la lateral.

Que para andar más que el viento el Area del Velamen debe ser mayor que

$$83,7 \cdot R \cdot r / (R - 3 \cdot r)$$

donde **R** es el coeficiente de resistencia lateral y **r** el de la directa.

“Como nadie ignora que una Galera tiene de largo mas que siete veces su ancho, y ademas mucho mas fina á proporción su Proa, es claro que la Galera bien dispuestas sus Velas, anda mas que el viento.”

Que sólo con ciertos aparejos el Navío de 80 cañones puede andar lo que se le pide.

En la extensa Nota al Art.352, que se distribuye por 7 páginas, Jorge Juan discute la velocidad del viento y qué vientos se pueden aguantar con cada aparejo. Se refiere a los datos publicados por Mariotte, Clare y Derbam y comenta sus experiencias que difieren de los datos que cita Bouguer, al que discute con sus propias mediciones en Cádiz, que no coinciden con las que darían los cálculos antiguos. Sus nuevos cálculos añaden la curvatura de las velas a los de Jacobo Bernoulli y explican mejor que los demás las velocidades que realmente sacan los Navíos en la mar, con distintos vientos y aparejos.

Todo este capítulo, que contrasta su Teórica con la práctica que conoce, denota la gran experiencia del navegante-científico, que ante los datos que le ofrece la realidad busca explicar, predecir, justificar, corregir.

Calcula con sus fórmulas cuánto sale a barlovento el Navío de 60, en las navegaciones típicas de este Navío, y con las velas que podía largar, y recuerda la realidad del mar con viento fresco:

“Con 17.765 pies de velamen (...) si el viento corriese 20 pies por segundo, saldría el navío a barlovento con una velocidad de 1,267 pies que equivale a 0,76 millas por hora, de suerte que en 5 horas se pusiera 3,8 millas a barlovento” (...) y con 11.900 pies de velamen, si corriese el viento 40 pies, en 5 horas se pusiera 3,22 milas a barlovento; tood esto todo esto, bien entendido, que es sin hacer atención á los golpes de Mar, que en estos últimos casos son de grandísimo efecto; y asimismo, á la *ventola*, que llaman los Marineros al impulso ó fuerza con que el viento actúa sobre el casco y aparejo del Navio, que también causa bastante atraso.”

Como diestro matemático, hace un desarrollo en serie de la velocidad directa “**u**”, lo que le permite notar

“que no solo por disminuir la relación  $r / R$  aumenta dicha velocidad, sino por disminuir las mismas cantidades **r** y **R**, aunque sea una y otra en la propia razón.”

Y añade:

“Las cantidades de esta serie pueden servirnos también para examinar y fixar la razón en que deberán estar las principales medidas de un Navio, como Eslora, Manga y Puntal, para que tenga el mayor andar: supuesto constante su Buque, ó que disminuya una en la misma razón que otra aumente.”

“También resultan otras variaciones en el andar de los Navios, que los Marineros han notado, sin llegar á conocer la causa, ni que tampoco se la hayan manifestado hasta ahora los Geómetras.”

Y compara dimensionalmente las resistencias con el velamen para concluir que  
“el menor Navío ha de andar más”

y que

“como la desnivelación del fluido resulta despreciable con vientos cortos y en Navíos grandes” (...) “de ambas razones combinadas resulta que con vientos cortos han de andar más los Buques pequeños, como Fragatas y otros, y con violentos los grandes.”

Con esta observación justifica el uso de navíos mayores no sólo por la artillería que pueden montar sino porque aguantan la mar mejor en los temporales y tienen mayor disponibilidad para el servicio.

Concluye Juan incluyendo los importantes efectos de que el navío no esté nivelado:

“Hasta aqui hemos tratado esta theórica, suponiendo siempre el Navio de nivel, ó sin cabezadas, ó rotacion sobre un exe: de esta suerte, calculamos las resistencias: de que nos hemos servido; pero luego que el Navio cabecea, es claro que aquellas resistencias se alteran, no existen ya mas: y por consiguiente, tampoco se conservan las velocidades asignadas: que tanto disminuirán, quanto dichas cabezadas sean mayores, pues con ellas presentará mayor superficie que resista, y por lo general herida con senos mayores de incidencia. A su tiempo se verá, que en Proas agudas pueden ser estas cabezadas una, dos, y tres veces mayores que en otras algo más llenas: por consiguiente, no porque aquellas padezcan menos resistencia en caso de la tranquilidad les sucederá lo propio en caso de la agitación. En este sube á ser muchas veces mayor, porque hiere el agua superficies mucho mas amplias, y con ángulos casi recto: luego en caso de la agitación, según esta fuere mayor ó menor, puede el Navio de Proa mas llena andar mas. Es el motivo porque no podemos admitir para la Navegación la Proa de menor resistencia, como han pretendido hasta ahora los Geómetras, pues siendo sumamente aguda, dexará de ser menos resistente en la agitación.”

Cap.2. De los ángulos que deben formar las Velas, y el Viento con la Quilla, para conseguir el máximo andar.

Jorge Juan se encuentra satisfecho de lo que ha logrado hasta aquí, y lo manifiesta sin ambages:

“Asegurados ya de la puntualidad de nuestras formulas, y de su exacta conformidad con la práctica, se hace preciso especularlas enteramente, y sacar de ellas las ventajas posibles: es lo que únicamente puede enseñarnos la buena theórica, y que no podrían deducir los Marineros aun con infinitos siglos de práctica.”

La fórmula que ha establecido para la velocidad  $u$  le permite deducir que esa función debe tener un máximo entre sus dos nulos, y halla la compleja expresión para el ángulo  $\beta$  que debe formar la verga con la quilla para producirlo.

Tan  $\beta$  =

$$\frac{Q \operatorname{sen} . \gamma \operatorname{sen} . \delta \cos . \delta + F \cos . (\gamma + \delta) + \sqrt{F^2 + Q^2} \operatorname{sen} . \gamma \operatorname{sen} . (\gamma - \delta)}{Q \operatorname{sen} . \gamma \cos . \delta + F \operatorname{sen} (\gamma + \delta)}$$

Discrepa fundamentalmente en esto de John Muller y coincide con Juan Bernoulli, “sin embargo que ambos partieron del mismo principio erróneo de las resistencias” y desmonta así un error habitual:

“El primer conocimiento que nos ofrece está fórmula es. que el valor de  $\beta$  no es constante, como han creído hasta ahora los Geómetras, pues depende de la relación entre las resistencias de la Proa y costado, de la cantidad de Vela y de la curvidad de esta: de suerte que quanto menor sea la resistencia de Proa respecto a la del costado, menor debe ser  $\beta$ , y asimismo, quanto menor sea la curvidad y mayor la cantidad de vela.”

Las fórmulas que ha obtenido constituyen poderosas herramientas en las manos de J- Juan, que se entretiene jugando con ellas, desmenuzando su aplicación a casos reales y dando valores diferentes a sus variables para recomendar las mejores catidades de velas y su orientación para navegar con diferentes vientos y seguir un rumbo elegido. En cada caso, se queda satisfecho de la comparación de sus resultados con la práctica de los Marineros.

Cap.3. De la inclinación que toma el Navío, obligado de la fuerza que hace el viento en las Velas.

Sigue a Bouguer en el concepto y la determinación del *Punto Vélco* y también en la imposibilidad de bajarlo más de un límite, pero con su experiencia marinera discute la propuesta de aquél de separar el canto bajo [pujamen] del palo mediante botalones o alargar las vergas dos y hasta dos veces y media lo que hoy se estila.

Demuestra, una vez más, que sus fórmulas para la resistencia de los barcos están conformes con la práctica, y que son erróneas las formulaciones anteriores para la resistencia de los fluidos. Así, para el navío de 60,

“supuestas aferradas todas las velas menuda, Juanetes, y aun tomando un rizo á las gabias, se halló que, si corriese el viento 20 pies por segundo, sería el ángulo de la inclinación de 12° 40’; y si corriese el viento 25 pies por segundo, sería el ángulo de 15° 54’. Esta inclinación parece excesiva, pues llegará con ella el agua un pie mas arriba que el canto baxo de las portas baxas: por cuyo motivo el aparejo que se supone, es demasiado para el viento que corra 25 pies por segundo.”

A la vista de estos y otros ejemplos, rebate los resultados de las experiencias citadas de Mariotte y aceptadas por Bouguer, aplicando sus mismas formulaciones a los datos de aquellas, en una nota crítica y mordaz en la que calcula los momentos debidos a la resistencia del barco.

“Las inclinaciones de los Navios nos dan motivo ahora para exponer otro absurdo muy evidente, que resulta del antiguo, ó hasta ahora creído systema de las resistencias de los fluidos, como asimismo de las experiencias practicadas por *Mr. Mariotte*, de que hablamos en el Escol. Prop. 36. Lib.2. Tom.1. Pero para que en ello no pueda quedar escrupuloso no nos valdremos de nada que resulte del nuevamente propuesto.” Y llega así a que para que el Navío anduviera 6 millas de bolina con 23.050 pies cuadrados de vela, la velocidad del viento debiera ser  $76\frac{1}{3}$  pies por segundo: “velocidad espantosa; pero supóngase así por un instante á beneficio del systema. En un andar tan particular de bolina, bien saben los Marineros que el Navio se debe inclinar considerablemente, quiza» hasta estar al canto de las portas baxas en el agua,”

Calcula que la fuerza del viento es de 315 quintales, y no 948 como resultan de las experiencias de Mariotte, por lo que concluye:

“De todo lo qual se sigue, que el defecto depende del erróneo principio seguido de las resistencias de los fluidos, y de las experiencias, absolutamente equivocadas de *Mr. Mariotte*, que nos afirma igualmente *Mr. Bouguer*.”

Motivado sin duda por su propia experiencia marinera, explica con su teórica los peligros de ciertas navegaciones:

“No debemos pasar en silencio otro [caso] que es el terror de los Marineros, que ha hecho perecer muchas Embarcaciones, y que, por falta de conocimiento perfecto, aún no se teme bastante: es lo que los Marineros llaman *tomar por la alúa*. Redúcese el caso á que navegando con viento fuerte, séase por descuido del Timonel, o porque el viento se mude de repente, llegan á tomar las Velas en facha: esto es, viene a impelerlas el viento por la parte opuesta de Proa ú de sotavento.”

Después de estudiar el efecto del lastre en las inclinaciones laterales y lo que ocurre en navíos semejantes, aborda las inclinaciones directas, Proa á Popa,

“pues aunque por la suma longitud de la Embarcación se hacen casi insensibles, es bueno tener conocimiento del grado y calidad de ellas, porque varían según las circunstancias y fábrica, haciéndose esencialísimo que de qualquiera especie que sean, no lleguen á ser considerables, no solo porque el Navio no altere la situación horizontal que el Constructor premeditó le convenia, sino por otros fines que mas adelante se manifiestan.”

#### Cap.4. Del gobierno del Navío.

Escribe este Capítulo a pesar de haber tratado ya del Timón porque,

“se verá que aquél no es más que uno de los agentes que contribuyen, y quizás no el más eficaz.”

Analiza la geometría de la mecánica del gobierno cuando el barco escora por la acción del viento con las **Figs.48 y 49**, en las que muestra que el centro vélico cae a sotavento y no permanece en la vertical de **G**, que

“este es el modo de discurrir que ha conducido hasta ahora a todos los Geómetras.”

Para que se verifique un buen gobierno, o no necesite actuar el Timón, habrá de verificarse la ecuación:

$$2/3.n2.r.u2 / (DK.Tan. (\beta-\delta)) = DG$$

Es decir, debe caer el centro vélico escorado **K** sobre el plano vertical por **G** y paralelo al viento. (Figs. 48 y 49)

Termina analizando el efecto que tienen en el gobierno las variaciones en el velamen, la eslora, el peso y el asiento, así como los golpes de mar, y cómo debe maniobrase en cada caso.

Explica por qué el conocer esta Teórica es necesario, no sólo para el Marinero que debe aplicarla navegando sino, con más razón, para el Constructor, como el proyectista que debe procurar que el Navío tenga con unas ciertas cualidades, es decir, las competencias que luego tendrán los Arquitectos Navales, o los Ingenieros de Marina.

“Todas estas consecuencias son peculiares del Marinero, que debe tener presente para remediar los inconvenientes que puedan ocurrir en las ocasiones. Haylas también que pertenecen al Constructor, pues debe cuidar de que los centros de las resistencias, y de las Velas, estén situados de forma que con facilidad se pueda verificar la equacion [de gobierno], lo que se puede conseguir de varios modos.”

Y explica algunos: aumentar o disminuir los lanzamientos de Proa y de Popa; mudar los palos para mover el centro vélico; dividir el aparejo convenientemente.

#### Cap.5. Del Balance y Cabezada.

Reconoce que no es posible evitar el Balance ni el Cabeceo, pero sí reducir sus efectos, y critica a Euler y Bouguer porque no sólo no han sabido analizar el problema sino que proponen soluciones equivocadas.

“Son acciones puramente perjudiciales, porque de ellas no redundan muchas veces, sino pérdidas de Xarcias, Vergas, Palos, y aun de los mismos Buques: y otras inundaciones de agua, ú de golpes de mar, que pasan por encima del Navio. El modo de evitarlos fuera beneficio de los mas importantes; pero no es dable sin experimentar con exceso unos ú otros daños: debemos contentarnos con dar reglas convenientes para moderar unos y otros, haciéndolos menos perjudiciales, pues los mas respetables Autores (Euler y Bouguer) no han tratado hasta ahora el Balance sino como una acción que depende precisamente de la disposición y hechura del Navio, sin atender á las Mares que lo causan: y toda su consideración se ha reducido á medir el tiempo en que lo executan, persuadidos á que en su aumento consiste únicamente el beneficio; pero á mas de que en esto se gana poco, los medios que proponen para lograrlo, son en gran manera perjudiciales.”

Deriva una expresión para el Período de Balance (**T**) que tiene en cuenta el Peso del Buque (**P**), la distancia del centro de gravedad al metacentro (**K**), los momentos de inercia que producen las mismas partes del Buque (**S=P.x<sup>2</sup>**), los momentos resistentes del mismo fluido causados en el costado (**G**), y la longitud del péndulo que debe vibrar los segundos (**I**) que próximamente es de 39 pulgadas:

$$\left( \frac{x^2}{KI} + \frac{G^2}{64K^2P^2I} \right) + \left( \left( \frac{x^2}{KI} + \frac{G^2}{64K^2P^2I} \right) - \left( \frac{x^2}{KI} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

De aquí deduce que, si se mantiene constante  $K (=GM)$  los tiempos  $T$  serán como la  $x$ , radio de giro de las inercias del navío, y en Navíos semejantes los tiempos serán como las raíces cuadradas de sus dimensiones lineales.

Esto le lleva a demostrar que la Fragata *Tritón* de 180 toneladas no podía hacer sus balances en 4,5 segundos como decía Bouguer, y analiza los graves inconvenientes que resultarían de ser esto cierto, especialmente unas aceleraciones insostenibles para los palos y la estructura del casco.

Formula la acción que padecen las fibras del Buque y también la acción que padecen los palos debido a la inercia, resumida en el radio de giro  $x$ .

“En Navíos semejantes, y semejantemente aparejados, la acción sobre los Palos es próximamente como las quintas potestades de sus dimensiones lineales: por lo que así el Buque, como la Arboladura y jarcias de un Navío grande, padecen mucho más que las de otro pequeño; puesto que sus resistencias o fuerzas son solo como los cubos de las mismas dimensiones.”

“Hasta aquí no nos hemos apartado de lo que los más célebres Autores han producido.”

Pero frente a ellos, añade el estudio del efecto del golpe de Mar que ellos no incluyen, no sólo por la alteración de la superficie del agua sino por la fuerza con que ésta choca contra el casco, que produce un momento mucho mayor.

“A más de esto, para que nada dexemos en que no pongamos la atención, debemos introducir otra potencia, que es la acción de las Velas.”

Se produce una diferencia en la velocidad relativa del viento que incide en las Velas, y

“Esta diferencia de velocidad altera el momento con que actúan las Velas en el acto del Balance, y es efectivamente un momento resistente en ambos casos, de caer ó levantarse el Navío en el Balance.”

El efecto de las Velas en el Balance lo resume en la fórmula

$$Q = \frac{1}{16} mA^2 G \cos.(\beta - \delta) \cdot \frac{\text{sen. } \alpha}{\text{sen. } \gamma},$$

De modo que la constante  $G$  que multiplicaba las resistencias del costado se ve ahora incrementada en la cantidad  $Q.n^2$ .

“A mas de esto, tiene el tiempo en que se executa el Balance mayores particularidades á que atender, pues no puede resultar plenamente de sola la fórmula hallada, ó valor de la velocidad angular: se ha de sujetar también al tiempo en que pase la ola por debaxo del Navío, y este en nada se altera porque sean ó no mayores los momentos de inercia  $S$ , ó qualquiera de las cantidades que contiene la fórmula dada.”

El análisis del encuentro del barco con la ola lo hace Juan hasta sus últimos detalles, y así estudia que una ola de través no produce el mayor momento de balance en el instante de tocar el costado sino cuando la cresta ha avanzado un trecho hacia crujía, ya que las líneas de agua no son paralelas al diametral y no todas las secciones reciben la ola al mismo tiempo.

Formula así el tiempo que empleará el Navío en dar su primer balance por sólo causa de la ola como

$$t = \frac{1}{c} (a+b)^{\frac{1}{2}} \left( 1 + \frac{b}{a} \right)$$

Donde **c** es el valor de “pi” que no utiliza Jorge Juan; **b** la longitud de media onda; **a** su altura; **h** es lo que avanza la cresta de la ola desde la manga máxima hasta que produce el máximo momento de balance.

Continúa su análisis calculando la velocidad máxima en el Balance y su amplitud, para hallar cuánto sube el agua en el costado y estudia posible remedios para modificar las características del Balance cuando no sean aceptables. Compara y combina el periodo propio de balance (**T**) y el período inducido por la ola (**t**) y deduce el tiempo en que realmente da el Balance un Navío, en oscilaciones sincronas con la ola, como

$$\Theta = \sqrt{\frac{2t \cdot S}{(T+t) K P I}}$$

La velocidad máxima en el Balance que obtiene resulta directamente proporcional al radio de giro de inercia (**x**), a la altura metacéntrica (**K**) y al peso (**P**), e inversamente proporcional al momento resistente del fluido en el costado (**G**), por lo que conviene disminuir **K**, pero no aumentar **x** para disminuir dicha velocidad máxima.

“Para que los Palos padezcan lo menos que es posible, debe ser el Navío isocrono con la ola, o dar los balances, que por sí solo debiera dar, en el mismo tiempo que los que la ola produjera.”

$$x = t \cdot \sqrt{K \cdot I}$$

De esta condición resulta

“el valor de **S**, ú de **x**, que hará que los Palos trabajen lo menos que es posible; pero el valor de **t** es indeterminado, pues cada ola lo produce distinto.”

Por lo que

“para lograr esta ventaja era preciso variar **S**, aumentándolo en las olas grandes y disminuyéndol en las pequeñas, lo que no conviene en la práctica.”

En consecuencia, propone tomar un valor promedio de las olas que se puedan esperar, entre 9 y 40 pies de alto, con lo que resultará un valor para la inercia en Balance de

$$S = 16.K.P.I$$



El valor de **K** debe ser bajo para no dañar los palos, pero con valores menores aumenta la altura que el agua alcanza en el costado, que es proporcional a **T**<sup>2</sup>.

“A estas elevaciones a las que se debe agregar la desnivelación o alturas á que ascenderá la ola más arriba, por causa de la velocidad con que chocará con el costado, cuya altura es  $u^2/64$ , siendo **u** la velocidad de la ola.”

El valor de **K**, o altura metacéntrica, que se adopte debe, por tanto, ser un compromiso entre no dañar los Palos y no embarcar agua.

”Las figuras muy delgadas en los extremos tienen menor valor de **K**, como “las que construyen algunos Constructores á persuasión de lo que, sin estas atenciones, escribieron los Geómetras.”

Analiza el cabeceo con los mismos criterios que el balance y halla el tiempo en que pasará media ola por debajo de la proa:

$$T = \frac{ac(1 + \frac{1}{2}c)(2 + \frac{1}{2}c)^{\frac{1}{2}}}{8a^{\frac{1}{2}}(1 + \frac{1}{2}c)\cos.\epsilon + cu(2 + \frac{1}{2}c)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde **a** es la altura, **c** es “pi”, **ε** la oblicuidad de la ola y **u** la velocidad del Navío.

Deduce entonces el período de Cabeceo como

$$\Theta = \left( \frac{2t^2x^2}{x^2 + t^2Kl} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Y la amplitud

$$\delta = \left( \frac{x^2 + t^2Kl}{2t^2Kl} \right) \text{sen.} \Delta = \left( \frac{T^2 + t^2}{2t^2} \right) \text{sen.} \Delta$$

“Para que el Navío de 60 cabecease con la mayor suavidad y alivio de los Palos, fuera preciso reducir **x** á menos de las dos terceras partes, o **S** a la mitad, todo lo contrario de lo que hallamos en el Balance, porque allí se halló **T** < **t** y aquí **T** > **t**.”

“Por lo ordinario no se podrá reducir la **x**, o **S** tanto como se hace necesario, con lo que por lo dicho fuera bueno disminuir **K**, para disminuir igualmente la acción de las Arboladuras, á no ser por las inundaciones, o elevaciones del agua en la Proa, que aún son más excesivas que las del Costado, por causa de la velocidad **u** del Navío.”

Finalmente, calcula la velocidad con que la que choca la Proa en la cabezada y la desnivelación que se produce en el agua mediante sendas fórmulas que luego aplica al comportamiento del Navío de 60:

$$\frac{8a^{\frac{1}{2}}(1 + \frac{1}{2}c)\cos.\epsilon}{c(2 + \frac{1}{2}c)^{\frac{1}{2}}} + u$$

$$\left( \frac{a^2 (1 + \frac{1}{2}c) \cos^2 e}{c(2 + \frac{1}{2}c)^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{2}u \right)^2$$

“En este último caso de grandes olas y viento, navegando el Navío, no debe ni puede llevar mucha Vela, como lo ha pretendido un Geómetra.”

Crítica en esto a Bouguer, el Geómetra autor de *La mâture des Vaisseaux*, desde la seguridad que le da su experiencia como Marino que ha observado la mar y ha vivido la respuesta de los navíos en sus navegaciones.

Con estas consideraciones concluye que es bueno ensanchar las proas y también los extremos fuera del agua. Y en el siguiente Art.487 resume sus ideas para los Arquitectos Navales que nunca nombra:

“Esto debe hacer cesar ya la buena intención con que los Geómetras han querido introducir la Proa de la menor resistencia, persuadidos á que daría la mayor velocidad á la Embarcación: [aquí sigue a Sévérien] pues ven claramente que no pueden ser practicables sino en Ríos ó Mares tranquilos; no donde las olas producen los efectos que hemos visto. Las aguas no solamente las inundarían, ó quizás hicieran perecer, sino que las quitarían la pretendida velocidad, como ya se dixo, y se puede ver (Art.359). De esto se infiere claramente, que con Mares suaves andarán mas los Navios largos, y de Proas agudas; pero en las agitadas, ú de violentas olas, deben tener ventajas los cortos y de Proas mas amplias. Con este motivo se puede también adaptar el que lo mas amplio del Navio, ó Quaderna maestra, debe colocarse algo mas á Proa, que el medio de la Embarcación; pero guardada la prevención primera, no se hace esta precisa, como han creído, y aun creen sin motivo algunos.”

El último Artículo (488) de este libro avisa del efecto perjudicial de los abanicos para los Palos, porque al entrar en el agua aumenta repentinamente **G** (factor de resistencias del costado) y también el valor de **S'.du / S**.

### Libro quinto

De las máximas reglas que resultan de los precedentes.

Este Libro está dedicado “al Constructor y al Marinero, que no fueren versados en el cálculo que antes nos pudo sacar del laberinto de escollos sobre que caminábamos, y se reduce a dar las reglas o máximas que resultan de aquel fruto.”

Se trata, pues, del compendio didáctico del *Examen Marítimo*, y como tal bien pudo servir de texto para formar a los Marineros en la Arquitectura Naval.

En esta labor didáctica, sigue utilizando el Navío de 60 para explicar la aplicación de sus reglas, y al mismo tiempo demuestra la bondad del proyecto de dicho Navío, que era uno de los de su sistema.

Cap.1. De la fortaleza de los Navíos; del grueso de sus maderas, y de la relación entre sus Mangas y Esloras.

Aquí observamos que no considera el efecto de la sobrecarga que representan las aceleraciones del cabeceo. En otro punto, supone que la relación dimensional con el cubo de la longitud de la resistencia local de los maderos es válida también para todo el casco, al que supone por tanto homogéneo en su respuesta en la flexión.

Es interesante la defensa que hace del uso de maderas distintas del roble, como el Cedro o el Pino, especialmente en la tablazón y en las cuadernas, con las se ahorraría peso, “pero no ha de ser hasta que quede el buque de igual o de correspondiente fortaleza.”

Como el peso de la cuaderna de Pino es 7/10 de la de Roble, “concluye claramente las grandes ventajas que resultarán de hacer un Navío de Pino; pues aunque para conservar el aguante de Vela se deben poner 2955 quintales de lastre más, siempre quedará levantado sobre el agua de 9 pulgadas”.

Cap.2. De la magnitud de los Navíos.

Revisa las obras del Padre Fournier (1679), del Señor de Dassie (1677), junto con las de Sutherland (1711) y Gaztañeta (1720). Nos confirma nuestra idea de que si Jorge Juan no usa el término Arquitectura Naval es porque no la entiende como estos autores la tratan. Sigue refiriéndose a los Constructores como los responsables del proyecto de las naves, desde la creación de las formas hasta la construcción. A ellos destina sus reglas. Realiza un interesante ejercicio de proyecto alternativo para comparar dos navíos de 60, uno con 40 y otro con 42 pies de manga, analizando todas sus características esenciales: fortaleza, calados, aguante de vela, escoras y costes.

Cap.3. Del aguante de Vela.

En este capítulo, como en el resto de este Libro quinto, destaca con bastardilla las reglas o máximas que desea transmitir, por lo que podríamos hacer una relación de ellas para seguir su discurso didáctico.

Se detiene especialmente en el problema marino de la orientación de las vergas en la navegación con vientos diferentes.

Lo había tratado con esmero en el Libro tercero de este Tomo 2º, como una teórica esencial de los Navíos. Ahora le dedica veinte jugosas páginas en las que mima el tema del aguante de vela y los presenta con una colección de máximas que son verdaderas “píldoras” de la Arquitectura Naval de los veleros.

Cap.4. Del andar y rumbo que siguen los Navíos.

La condición de Geómetra de Jorge Juan se manifiesta en la **Fig.53**, en la que utiliza una construcción geométrica, artificiosa para analizar y determinar los rumbos de la Nave, con la leyenda siguiente:

**QA**, la quilla; **VE**, la verga; **Ce**, la velocidad oblicua; **de**, la velocidad lateral; **ab**, la velocidad directa; **fe**, la salida a barlovento; **Ya**, la velocidad del viento.

Cap.5. Del gobierno del Navío.

Discrepa de los Geómetras en cuanto al mejor ángulo que debe formar el timón con la quilla para conseguir la máxima fuerza. También disiente de donde colocan el Palo los Geómetras, y repite que “los Marineros saben muy bien con la sola experiencia “cómo influye el cambio de viento en el velamen para la maniobra.

#### Cap.6. Del Balance y la Cabezada.

Declara que ni Bouguer, ni Euler, ni otros autores, tuvieron en cuenta la ola en el estudio del Balance, y denuncia los errores que cometieron al estimar los terceros balances y los tiempos.

En la **Fig.56** hace de nuevo uso de su Geometría y ofrece una construcción geométrica feliz de las formulaciones que halló antes, para determinar las relaciones de los períodos de balance que concurren en un barco: **AB**, el periodo propio; **AC**, el período debido a la ola sola; **DE**, el período verdadero. .  
Esta figura le permite concluir que la acción de los Palos es como  $DE$  y la magnitud del Balance es como  $DE^2$ .

### 7. PRECEDENTES DEL EXAMEN MARÍTIMO

Analizamos en este capítulo algunas obras que Jorge Juan conocía bien, para averiguar en qué aspectos pudieron haber tenido alguna influencia en el *Examen Marítimo*, y las recorreremos en el orden cronológico de su primera publicación.

#### *Essai d'une nouvelle Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux* (1714)

Como explica en su Prefacio, Jean Bernoulli<sup>58</sup> escribe esta obra para sentar su teoría como conclusión del debate entre Renau y Huguens en el que tomó parte, sobre la Maniobra, que

“conciene a la disposición de las Velas, del Timón y del mismo Navío, que se deben conducir con extrema circunspección, para manejar bien el viento y los tiempos, para aprovechar sus ventajas, y para evitar sus peligros.

Esta parte es sin duda la más esencial de la Navegación; pero es al mismo tiempo la más difícil: Requiere un conocimiento perfecto de la Mecánica más sublime, tanto de los fluidos como de los sólidos, en aquéllos que emprendan tratarla a fondo, sin ella, hay que temer que se equivoquen, y que sus errores sean la causa de muchas desgracias en la práctica.”

Su descripción del debate y de su propia intervención fueron luego reproducidos por otros autores, incluidos Bouguer y Jorge Juan, y le sirve para justificar su obra al tiempo que identifica las cualidades que debería tener quien escriba de ello, con lo que debió de animarse Jorge Juan:

“Tales son los Motivos que me han llevado a escribir y que yo he querido informar, por temor a que el Lector encontrara extraño que una Persona, que vive en uno de los Países más alejados de la Mar, ose emprender el tratar de una materia, que parece que exige un conocimiento perfecto de la Marina y una Experiencia consumada en el Arte de la Navegación.”

Como los autores que le seguirán en el tiempo, hasta el mismo Jorge Juan, considera esencial “la propia figura de los navíos, de la que depende la perfección de esta Teoría”, y reconoce “las dificultades casi insuperables que se encuentran cuando se quiere emplear los verdaderos principios de esta Ciencia”.<sup>59</sup>

Resuelve el problema de la deriva que enfrentaba a Renau y Huguens, aunque con los errores que luego apuntará Jorge Juan, que invalidan sus demás conclusiones. Utiliza los principios de la *Estática* de Varignon y propone teoremas propios que le permite deducir la curva que toma un cabo sometido a varias fuerzas (*catenaria*) y también la curva que toma la vela inflada por el viento (la *velaria*), que supuso idénticas en 1692 y que ahora corrige “La Curvatura de la Vela debe ser la misma que la Catenaria, supuesto que el viento incide oblicuamente sobre la vela, y que no se queda en su cavidad, pues de otro modo la curva cambia, según las diversas maneras en las que la vela recibe el viento, y según que lo retenga o que lo deje escapar más o menos libremente. (...) La Naturaleza de la Curva debe ser tal que la convexidad esté en razón directa, o que el radio del círculo osculador esté en razón recíproca de la presión del fluido en el mismo punto ».<sup>60</sup>

#### La Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux (1731)

Henri Pitot<sup>61</sup> explica en su Prefacio la historia del problema de la Maniobra y las soluciones que han ofrecido los Geómetras, desde el P.Pardies (1671) hasta Bernoulli, “uno de los más grandes Geómetras de este siglo” y su nueva Teoría de 1714.

“Mas tanto como ella es propia para contentar a los Geómetras, tanto es poco satisfactoria para el común de los Marinos. Es pues, para poner al alcance de estos últimos los Principios de la Maniobra, por lo que me he determinado a componer este pequeño tratado; en el que se verá que me ciño a dar las demostraciones más simples y más cortas, que no son las de este ilustre Geómetra; y a aplicar los principios, a las formas de Navíos más aproximadas que las suyas a las de los Navíos ordinarios. »

Aplica la misma fórmula que diera Huguens y demostrara Bernoulli a barcos con sus flotaciones poligonales irregulares y a las formadas por dos arcos circulares simétricos y forma una colección de tablas que relacionan todas las variables del problema: viento, velas, quilla y deriva. Sigue también a Bernoulli para estudiar la posición más ventajosa de los palos y vergas, así como la acción del timón, y para enseñar a los marinos el uso de las tablas, plantea problemas y resuelve con las tablas ejemplos de situaciones que pueden encontrarse habitualmente en la mar.

#### Traité du Navire (1746)

El *Tratado de la Nave*<sup>62</sup> de Bouguer<sup>63</sup> representa un salto cualitativo en la literatura de la ingeniería y constituye la fuente esencial del *Examen Marítimo*. Jorge Juan se referirá continuamente a Bouguer y utilizará su obra para rebatir los errores que observa y para ofrecer su propia teoría. También a través de este *Tratado* Jorge Juan se asomará a las obras de otros autores a los que Bouguer se refiere. El papel del *Tratado* como modelo en cuanto a los contenidos se complementará, como veremos, con el modelo de la obra de Euler que adoptará el *Examen Marítimo*.

No hay que olvidar que cuando Bouguer va a Perú ya había ganado el Premio de la Académie des Sciences de 1727 por su trabajo de la *Arboladura*, y en otras dos ocasiones por sus trabajos de *Navegación*.

En su dedicatoria al Conde de Maurepas confiesa Bouguer cómo la escribió:

“Mientras que en Perú me dedicaba a esta ocupación (en la Comisión enviada al Ecuador), sin dejar de atender nada para cumplir vuestras órdenes, he aprovechado todos los momentos de que se me ha permitido disponer, para trabajar en la composición de este *Tratado sobre la Construcción de los Navíos y la Teoría de su Maniobra*.”

El Prefacio no tiene desperdicio como explicación de sus ideas sobre la Arquitectura Naval, término que repite con frecuencia en todo el libro, con una vehemencia que lo hace verdaderamente acreedor al título de “padre de la Arquitectura Naval” que algunos le reconocen. De este prefacio hemos extraído ideas que no solamente nos ilustran el pensamiento de su autor, sino que marcan la senda que seguirá Jorge Juan.

Bouguer encuentra maduro el nacimiento de su Arquitectura Naval:

“No era apenas posible que la Arquitectura Naval, compleja como es por la multitud de diversos conocimientos que supone, hiciera progresos tan rápidos como las otras partes de la Marina que son incomparablemente más simples. Era preciso, no solamente que las diversas Teorías sobre el movimiento de las cuales depende, y cuya época es bastante reciente, fuesen llevadas aún más lejos de lo que era necesario, sino que también el Análisis y los métodos geométricos que debían servir para resolver las grandes dificultades que le son propias llegaran a un grado de perfección que no hace mucho tiempo que han adquirido.”

Enfrenta la Teoría con la Práctica, como repetirá Jorge Juan, y ensalza la Geometría y la Mecánica:

“Los Marineros dejaron muy pronto de hacer nuevos esfuerzos; y tomaron un partido que no podía ser dictado más que por la desesperanza, el de dedicarse a la Práctica más imperfecta, impidiéndose todo auxilio por parte de la Teoría. Se tenía un ejemplo a la vista, y no se quería prestarle ninguna atención. No se consideraba que aunque la Arquitectura militar sea extremadamente más fácil, no se ha ejecutado nada en todo este tiempo en relación con ella, más que por la dirección de la Geometría y de las Mecánicas.”

Pasa revista a todos los autores que trataron de la Arquitectura Naval desde las conferencias de París (Renau, Hoste, Huguens, Bernoulli y el histórico debate entre ellos) y rechaza “las contribuciones de la Ciencia que no salen de verdades puramente hipotéticas, que no tienen ninguna aplicación en la Marina”. Y remacha “que una proposición puede ser cierta en la Teoría, y falsa al mismo tiempo en la Práctica”, lo que rebatirá frontalmente Jorge Juan, y el mismo Bouguer niega al afirmar “se verá un continuado acuerdo entre la Teoría y la Práctica; lo contrario implicaría contradicción”, como también dirá luego Jorge Juan.

“La construcción (...) se hallaba encerrada en sus prácticas groseras, y además era tratada de una manera extremadamente imperfecta en algunos Escritos que tenemos. Sea por desconfianza por parte de los Constructores, o el propósito de mantener sus máximas secretas para prevalecer contra sus competidores, declaran las dimensiones principales que dan a sus Navíos; pero no tenemos ningún Libro que entre en el detalle de la figura que les dan actualmente, si se exceptúa un solo Manuscrito del que hemos tenido la ocasión de hablar, que no

es más que un simple bosquejo, mas cuyas copias se han repartido bastante en la Marina.”

Sin embargo, añade,

“el gran mal viene menos del misterio con que se tratan los preceptos de esta arte que de su limitación o de su imperfección; y es eso tal vez lo que más han sentido los Constructores, porque se avergüenzan y temen perder estima al dejarnos ver su extrema indigencia, lo que los lleva a usar una reserva continua.”

Expone las bases de su teoría del barco como un sistema armónico y complejo:

“Hay que convenir, finalmente, con el P. Hoste que la Práctica dejada a sí misma y desnudada de todos los auxilios de la Teoría, no puede hacer descubrir las verdaderas reglas en tal materia. El Navío es un todo tan complejo que cada cambio que se hace en una sola parte es el comienzo de una infinidad de disposiciones o de combinaciones diferentes, de las que cada una debe tener un éxito particular. No se puede, por ejemplo, tocar la manga de la carena sin hallarse en la necesidad de cambiar todas las otras partes.”

Pone como ejemplos la interdependencia de la arboladura y la situación de carga, el lastre o el porte del navío para concluir preguntándose: “¿no hay que pensar en todas las otras partes de la construcción, que no podrían reglarse más que por tentativas hechas con infinitamente más arte?” Y termina:

“En fin, esto no sería bastante; ya que cada parte del navío contribuye a la perfección del todo, no sólo la arboladura, no sólo la carga, no sólo las principales dimensiones de la carena, sino también toda su figura, la curvatura de los costados, la caída de la proa. Y aún repetimos que la perfección de la que deben gozar cada una de las partes depende de la relación que tenga con todas las demás cuya multitud es infinita, y que deben ser cada una separada igualmente perfectas. Discusión que obligaría, como se ve, a un número de desafíos, no simplemente infinito, mas infinitamente infinito.”

Reconoce que “se han abierto nuevos caminos; varios Constructores que podríamos nombrar, han adquirido una gran reputación, y si tuviéramos un número mayor, la cara de las cosas sería absolutamente diferente.”

Alaba al Ministerio de Marina que ha dado protección a las Ciencias y que “ha excitado a los Constructores con el más pujante de todos los motivos; ha añadido honor a su Profesión: y es cierto que merece ser colmada, tan pronto como ellos la ejerzan con conocimiento de causa; tan pronto como los superiores de su oficio, substituyan sus prácticas imperfectas por reglas luminosas y precisas; tan pronto como ya no produzcan un solo Plano sin apoyarlo en cálculos justificativos, en los cuales cada propiedad que deba tener el Navío sea discutida y evaluada con exactitud, tan pronto, en fin, como, al tomar la Geometría y la Física el lugar que había usurpado el azar o el tanteo, la Arquitectura Naval, fundada sobre principios ciertos, sea realmente un Arte.”

Es extraña la explicación que da de cuándo escribió el libro, tal vez movido por alguna noticia de que hubiera algún otro autor haciendo lo mismo.<sup>64</sup> Una explicación similar, pero más directa, la encontraremos en el prefacio de la *Scientia Navalis*.

Espera que su obra llegue a los Constructores más instruídos, una vez que la construcción de los Navíos deje de estar abandonada a la dirección de los Obreros que no tienen ningún principio de Geometría.

Y termina el Prefacio con una crítica al uso innecesario del lenguaje matemático y de la Geometría en los textos técnicos.<sup>65</sup>

La obra está compuesta por tres libros con un total de once secciones y de 85 capítulos en 682 páginas, con los siguientes contenidos:

Libro primero: Idea general de la Construcción. Con diversas observaciones sobre las reglas ordinarias.

Primera Sección: Donde se trata de la figura del Navío y de sus partes interiores.

Segunda Sección: De los equipos o aparatos del Navío.

Tercera Sección: De la resistencia o de la fuerza de las que deben ser capaces todas las partes del Navío.

Libro segundo: Del Navío considerado a flote, pero sin navegar.

Primera Sección: Del peso del Navío y de la fuerza que tiene el agua para sostenerlo.

Segunda Sección: De la distribución del peso del Navío y de la posición que se debe dar al centro en el cual se reúne este peso.

Tercera Sección: De la distribución del peso del Navío en relación con el movimiento de balance.

Libro tercero: Del Navío considerado en movimiento

Primera Sección: Donde se examinan las leyes que los fluidos observan en su choque; el viento al golpear las velas, y el agua al encontrarse con la parte anterior de la carena.

Segunda Sección: Donde se intenta la solución general de los principales Problemas de la Maniobra.

Tercera Sección: Del Navío considerado en relación con la propiedad que debe tener de gobernar bien, tanto por medio del timón como por medio de las velas.

Cuarta Sección: Donde se examina el navío en relación con la cualidad que debe tener de llevar bien la vela o de recibir un velamen ventajoso.

Quinta Sección: Del Navío considerado en relación con la rapidez de su estela y con la propiedad que debe tener de derivar poco en los rumbos oblicuos.

Como hemos leído en el Prefacio, el autor procura prescindir de las formulaciones matemáticas y describir los temas con lenguaje natural. No utiliza una numeración correlativa de artículos, ni incluye ningún capítulo de Geometría ni de Mecánica, y por tanto tampoco teoremas, corolarios ni escolios.

### Scientia Navalis (1749)

El *Examen Marítimo* está compuesto con el modelo de esta obra de Euler<sup>66</sup>: dos tomos, con el primero redactado “geométricamente”, con teoremas, corolarios y escolios, como hemos comentado antes. Se publica en Petrogrado tres años más tarde que el libro de Bouguer, lo que obliga a Euler a defenderse de las acusaciones de plagio en una sentida declaración.<sup>67</sup>

A diferencia del *Examen Marítimo* el primer tomo trata exclusivamente problemas relacionados directamente con el equilibrio y el movimiento de las naves flotantes, sin descender a cuestiones de Geometría o Mecánica. El tomo segundo se dan reglas y preceptos para la construcción y el gobierno de las naves.



Cada capítulo del tomo primero presenta un lema, un teorema, unas proposiciones o unos problemas con sus demostraciones, soluciones, corolarios y escolios. Este solo tomo bastara para eliminar cualquier sospecha de plagio. En los siete capítulos cubre el equilibrio, la estabilidad, las fuerzas que actúan sobre los flotadores y la resistencia al movimiento. Recogemos en las Notas sólo los títulos de estos capítulos y el texto del primer artículo de cada uno de ellos para ilustrar el estilo de este tomo.<sup>68</sup>

El Prof. Nowacki<sup>69</sup> ha publicado un estudio muy completo sobre la Teoría del Buque en la obra de Euler que nos ahorra extendernos en el análisis de esta obra desde esos puntos de vista. Nos queda sólo asomarnos al tomo segundo como precedente y probable inspirador del *Examen Marítimo*. En este tomo Euler desarrolla en once capítulos las mismas cuestiones que Bouguer y cuyo estudio llevará a Jorge Juan a proponer su nueva teoría de la resistencia:

De las Naves en general.

De la posición de equilibrio de las Naves.

De la estabilidad de la posición de equilibrio.

Del movimiento oscilatorio de las Naves.

De la inclinación que sufren las Naves por fuerzas cualesquiera.

De la acción del Timón.

De la acción de los Remos.

De la construcción de las Naves propulsadas por Remos.

De la fuerza que el Viento ejerce en las Velas.

De la colocación de los Palos.

Del rumbo oblicuo de las Naves.

Euler no analiza el trazado de las formas de las naves en los astilleros como hace Jorge Juan, sino que propone 10 especies de carenas que resumen las posibilidades que abre al definir matemáticamente la superficie de la carena mediante una relación paramétrica del tipo  $\mathbf{r}(u,v) = \{\mathbf{x}(u,v), \mathbf{y}(u,v), \mathbf{z}(u,v)\}$ , la cual le permite separar las variables como  $\mathbf{x}(u,v) = \mathbf{f}(u)\mathbf{g}(v)$ , donde  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$  son los parámetros o las coordenadas curvilíneas de la superficie.<sup>70</sup> De esta manera puede abordarse el problema de calcular las propiedades hidrostáticas de la carena primero, y las hidrodinámicas después.

## Otros autores

### Antoine Parent (1700)

La obra de este autor que cita Jorge Juan es la obra de un Geómetra<sup>71</sup>, aunque “no se tiene a la vista tanto el dar Proposiciones específicas y resueltas como métodos que se puedan aplicar a toda suerte de objetos (...) y se ha seguido en general el orden de la sencillez, pero no se ha dejado de tratar las materias en toda su extensión, con el fin de servir al mismo tiempo a los sabios Geómetras así como a los menos versados en las Matemáticas.”

Trata varios de los temas que estudiará Jorge Juan: choque de cuerpos duros y elásticos, las oscilaciones, los movimientos oblicuos y el choque de fluidos, y describe las máquinas para experimentar con toda clase de choques y de percusiones.

Antoine Parent será reconocido por el concepto de tensión tangencial o cortante y por haber iniciado la aplicación de la Geometría Analítica a las figuras tridimensionales.

### William Sutherland (1711, 1717)

La biblioteca de Jorge Juan guardaba dos obras de Sutherland, de la primera de las cuales <sup>72</sup> pudo tomar algunas ideas, datos y figuras, como la que enseña el método inglés para trazar las cuadernas <sup>73</sup>. Trata del Sólido de Mínima Resistencia de Newton, hasta donde se relaciona con la formación del cuerpo de los barcos, de los precios de la madera, de las Reglas para construir cualquier barco, con el Escantillonado de las maderas navales y Guías para trazarlas, un método para arquear los barcos basado en medir la diferencia de desplazamientos, y las proporciones que deben guardar de los elementos del Aparejo.

En un detenido Ensayo sobre la Arquitectura Marina (o mercante) la define con las ideas de los autores del s.XVII y plantea su libro para formar mejores Constructores:

“En una Fábrica bien construída debe considerarse: primero Solidez, Conveniencia, Belleza; luego Orden, Disposición, Proporción, Decoro y Economía; y de estas Ocho se dice que son las Propiedades necesarias de la Arquitectura. Consideradas y bien entendidas, estas Propiedades cualifican a un Hombre como un Arquitecto completo. Pero el presente proyecto es sólo para hacer un pequeño Ensayo sobre Marine Architecture, o la Parte Mecánica de la Construcción de Barcos.”

“Que un Barco apropiado y regular no se puede componer o construir sin hacer otras Ciencias servidoras de ésta: como la Aritmética, la Geometría, con el conocimiento de las Leyes del Movimiento, y los diferentes Aumentos desde el Reposo al mayor Movimiento, como también cómo gravitan los Cuerpos; y para ordenar el Equipamiento, cuya Experiencia es la Parte más noble, sin la cual todo el resto sería casi insignificante. Pero el que ha adquirido tanto la teoría como la práctica es un Constructor Naval (*shipwright*) completo.”

El autor escribe la segunda obra en plena euforia británica tras el Tratado de Utrecht <sup>74</sup>, y redacta la introducción en francés, donde traduce Shipbuilder por Architect.

Su orgullo nacional lo lleva a decir que “durante varios años Francia ha tenido la ayuda de Inglaterra en el Arte secreto de la Arquitectura de los navíos” pero acaba solicitando del Rey un puesto en la Royal Navy “para mejorar el carácter de los Constructores que se han mostrado tan negligentes en el uso de las maderas.”

Se puede ver aquí un precedente muy temprano de la recuperación de la tecnología constructiva inglesa que investigaría Jorge Juan treinta años más tarde.

Es un tratado completo de Construcción, que el autor llama Arquitectura, que él mismo resume como:

“Corta Descripción de los gastos que requiere la Arquitectura y el Equipamiento de los Navíos de la Flota Real de Su Majestad, cuyo número es de 350, Con un Ensayo tocante a los costes necesarios para su Carenado, para dejarlos en estado de Servicio.”

Realiza un análisis detallado de cada gremio para conocer los costes de materiales y de mano de obra de cada trabajo de la Construcción Naval, y propone unos modelos de los contratos justos para cada una de las obras, “porque cuando se paga lo que se merece el obrero trabaja mejor”.

#### Willem ‘s Gravesande (1721, 1748)

Los experimentos de Gravesande son citados y discutidos por Jorge Juan, quien tenía en su biblioteca la obra newtoniana de este autor. <sup>75</sup>. Aunque no se trate de un texto sobre la Arquitectura Naval que intentamos descubrir, traemos aquí esta referencia por la gran aceptación que tuvo, desde la primera edición latina (1719) hasta la cuarta (1748), y

porque presenta un estudio detallado en el que desmenuza cada tema con los autores que consultó, en cada corolario y escolio, en cada formulación, para las experiencias y para las máquinas. Como los temas que trata los aborda también Jorge Juan en su Tomo 1º, creemos que es oportuno reproducir en las Notas la lista de los autores que cita, a los que dedica 18 páginas del libro.<sup>76</sup>

#### Alexandre Savérien (1747)

Se trata de un autor que Jorge Juan apreciaba, a juzgar por los libros que de él guardaba. También era citado por Bouguer (1746) y por Euler (1773), y fue un precursor de la *Encyclopédie Marine*. Dedicamos unos párrafos a glosarlo porque pensamos que el *Examen Marítimo* pudo haberse inspirado en este autor y también en Chauchot.<sup>77</sup> La obra que comentamos aquí<sup>78</sup> defiende la importancia del problema de la Arboladura, el problema más importante que ha quedado sin resolver de las tres Artes de Construir, de Arbolar y de Maniobrar los navíos.

Rechaza la misma idea del *sólido de mínima resistencia* que han resuelto algunos Geómetras, porque se basa en dos errores: suponer el rumbo directo y que su carena avanza sin escorar.

Una consideración que ha sido ignorada por los Geómetras, en relación con el sólido de mínima resistencia y que encierra la solución de este Problema, es la impulsión del agua sobre la Popa del Navío. “Está fuera de duda que no es sino conciliando las dos resistencias que sufren la Proa y la Popa como se puede resolver.” Este es otro reto que toma Jorge Juan en su *Examen Marítimo*, que estudia el problema teniendo en cuenta que: “una Nave no puede navegar horizontalmente. Hace falta que se incline y que se balancee. Así una figura de nave en la que no se hubiera tenido en cuenta más que movimiento paralelo al horizonte será siempre una figura poco útil para la Construcción. La impulsión del agua sobre la Proa en este sentido es muy diferente de la que sufre esta parte del Navío en el sentido oblicuo. La operación no debe pues ser la misma.”<sup>79</sup> Esta es una diferencia fundamental de la Arquitectura Naval de los veleros con la de los buques de propulsión mecánica, y que la hace más compleja.

Defiende que la figura de la carena no puede basarse sólo en la forma de la flotación, porque nunca navega adrizada, y como “para calcular el esfuerzo de los obstáculos que se oponen al movimiento de un Cuerpo, se debe conocer perfectamente la naturaleza de este movimiento, que depende necesariamente de la fuerza motriz, se sigue que, a fin de descubrir la figura más ventajosa del Navío, es preciso saber qué efecto tiene el viento sobre las Velas.”<sup>80</sup> Encontraremos también esta idea entre las directrices de la obra de Jorge Juan.

Le da gran importancia a los movimientos verticales del navío, que dependen de la Arboladura, mientras que los movimientos horizontales dependen de la Maniobra, y fija la raíz del problema en la consideración del Palo como una palanca, de la que discute la situación del *hipomoclión* que dieron el P.Fournier y Bouguer, que pensaban que el punto de apoyo estaba fuera del palo. Rechaza la comparación que hace Bouguer del movimiento inducido por las velas con el que se produce en la sirga animal en los ríos, por causa de las componentes verticales del movimiento.

Se queja de que, al igual que el error de Renau tardó veinte años en aclararse, hayan tenido que pasar otros veinte para corregir la teoría de la arboladura de Bouguer<sup>81</sup>; y comenta irónico: “será este el plazo para los errores que se refieren a la Marina? o sólo porque “la verdad desnuda penetra difícilmente a través del mérito establecido.”<sup>82</sup>

Completa su crítica de la obra de Bouguer anotando que “en el movimiento de la Nave ha ignorado la fuerza de inercia, que ya reonoció Kepler, así como la causa física del

cabeceo y la manera en que el Navío avanza, tres principios necesarios para descubrir los verdaderos principios de la Arboladura, y para la Construcción y formar una nueva Arte.”<sup>83</sup>

Observamos que Sévérien, como Jorge Juan, utiliza Construcción con el alcance de Proyecto y también se refiere a “los antiguos principios” en las teorías que discute.

#### Chauchot (1755)

Este autor no lo cita Jorge Juan ni tampoco consta la obra que comentamos entre los libros que se citan de su biblioteca. Nos extraña, porque en esta obra encontramos muchos puntos en común con el *Examen Marítimo*, como mostramos en el resumen de algunos que incluimos en las Notas.<sup>84</sup>

Chauchot aborda casi todos los aspectos que desarrolla Jorge Juan, pero sin utilizar apenas fórmulas matemáticas. Explica todo ello con un lenguaje natural, como Newton.

El peso total del navío  
La altura de G  
La manga y la eslora  
Las formas de la carena  
La forma y longitud de la ola  
El número de cuadernas  
Las formas de las cuadernas en los extremos  
La acción sobre los palos y las piezas del casco  
La comodidad de la dotación  
La acción de los cañones sobre los costados  
El uso de lastre más denso y alejado de G  
El lanzamiento de la Roda y del Codaste  
Las formas de proa y popa para el cabeceo  
La posición de la maestra en la eslora  
El gobierno con las velas y el timón  
Barcos semejantes pero con grosores diferentes  
Efecto de las velas en el balance y el cabeceo

Al leer esta obra no podemos dejar de pensar que Jorge Juan debió de conocerla y tomar de ella algunas ideas, pues debía de estar al tanto de los premios de la *Académie* de París.

#### H-L. Duhamel du Monceau (1752)

El título del libro de Duhamel de Monceau<sup>85</sup> indica claramente qué se incluía entonces entre las materias de la Arquitectura Naval práctica. Se trata de una obra didáctica, dedicada a explicar las teorías de Bouguer y aplicar sus formulaciones. Aborda los temas fundamentales de esa Arquitectura Naval: las proporciones de los Navíos, los escantillones de las piezas principales, los métodos de trazado de las proyecciones en planos ortogonales, el cálculo del desplazamiento y del calado y la estimación de la resistencia al avance del cuerpo de proa.

Aplica la fórmula de Bouguer para calcular la relación entre la resistencia de la sección maestra al choque frontal y la del cuerpo de proa en rumbo directo, para varios barcos

franceses de los constructores más renombrados. Los valores que halla no siguen una ley con los portes y observa que también debe de influir en ellos la forma de la propia sección maestra.

Para calcular la resistencia al avance divide la superficie de la carena de cada rebanada entre dos planos de flotación paralelos en cuadriláteros alabeados entre cada dos cuadernas y éstos en dos triángulos. Recurre a una interesante construcción geométrica con la que calcula gráficamente el valor del cuadrado del seno del ángulo de incidencia del agua en cada triángulo, lo que le permite calcular con facilidad el factor de la resistencia de cualquier barco usando sólo su caja de cuadernas.<sup>86</sup>

#### Duranti de Lironcourt (1771)

El mismo año que el *Examen Marítimo* se publica en Francia la *Instruction Élémentaire* de Durante de Lironcourt, capitán de navío.<sup>87</sup>

Describe con detalle el uso, las propiedades, las relaciones y la forma de las principales piezas que entran en la composición del Navío. Es un camino esencial para los que se detinan al oficio de Ingeniero-Constructor, pero también para los Guardias de la Marina que un día deberán dar su opinión en los Consejos de Construcción.

La obra se ciñe a los hechos de la Práctica de la Arquitectura Naval, y las referencias a la Teoría de la Construcción son sólo cuando lo requieren los artículos especulativos, o cuando la Construcción-Práctica está íntimamente ligada y sometida a la Teoría.<sup>88</sup>

### 8. DESPUÉS DE JORGE JUAN

Nos interesa detenernos en las primeras obras publicadas tras el *Examen Marítimo* por dos motivos: comprobar qué eco tuvo la obra de Jorge Juan y en qué medida se revisaron las teorías que él publicó. Las que hemos seleccionado constituyeron los textos de referencia más utilizados en Europa hasta bien avanzado el siglo XIX.

#### Leonhard Euler (1773)

Probablemente escarmentado de que su *Scientia Navalis* hubiera tenido menor acogida que la *Théorie du Navire* de Bouguer, y también muy probablemente convencido de que el latín había sido un obstáculo para su difusión, Euler entrega en 1773 en francés la que denomina *Teoría Completa de la Construcción y la Maniobra de las Embarcaciones*.<sup>89</sup>

Nace esta obra como una versión didáctica de la *Scientia Navalis*<sup>90</sup> y enseguida consigue el aplauso de todos. Condorcet y d'Alembert le procuran un premio de 6.000 francos de Francia y Sartine la reedita en París en 1776, y el mismo año se publica una versión italiana en la Universidad de Padua.<sup>91</sup>

Al estar terminada sólo dos años después de ver la luz el *Examen Marítimo*, y con su autor ciego y lejos, es lo más probable que no tuviera noticia de la obra de Juan, en español, por más que el mismo Euler hubiera podido seguirla por su condición de académico y con su dominio del Latín,

Se explica así que en su dedicatoria al Gran Duque Pablo Petrovitz diga que:

“La ciencia de todo lo que concierne a la navegación es sin contradicción uno de los más sublimes y más útiles conocimientos del espíritu humano. Sin embargo, ha estado hasta aquí casi totalmente ignorada, y si bien sólo hace cuarenta años que los Geómetras hayan trabajado en ella con algún éxito, sus descubrimientos

están de tal manera envueltos en los más profundos cálculos, que los Marineros no han podido sacar de ellos casi ningún fruto.”

No cambia en esta obra sus teorías anteriores ni se hace eco de lo que Jorge Juan le critica en la suya. El objetivo de esta obra no es desarrollar una teoría sino buscar una aplicación de sus teorías a la práctica en el problema fundamental de la maniobra, que es hallar la relación entre los ángulos del viento, las velas y la quilla con el rumbo y las velocidades. La comentamos extensamente aquí porque la Maniobra del velero es el fundamento de su Arquitectura Naval y la que justifica las obras precedentes, incluida la de Jorge Juan, y porque constituye el último eslabón de una interesante cadena de tratados.

Johann Bernoulli (1714) había dejado el problema de la deriva resuelto para flotaciones cuya forma fuera un rectángulo o un rombo, e invitaba a otros Geómetras a construir tablas de uso práctico para otras formas. Henri Pitot (1731) publicó sus tablas para flotaciones con costados circulares y ángulos de entrada y salida desde 20 a 60 grados. Luego, Antoine Savérien (1747) propuso ampliar el uso de estas tablas mediante la observación experimental de la resistencia de las naves en varias direcciones, lo que dificultaba una aplicación en la práctica. El propio Euler (1749) había propuesto diez especies de formas de naves, según la igualdad, la semejanza o la afinidad en los tres planos principales, pero en la práctica resultaba difícil asimilar una nave a ellas, o interpolar entre ellas. Pierre Bouguer (1746) adoptó las tablas de Pitot y las extendió a otras figuras sencillas, y once años más tarde publicó otras tablas con las relaciones entre la deriva, las fuerzas incidentes, la figura de la carena y los impulsos del agua, y daba los medios prácticos para reconocer en la navegación los valores de las variables tabuladas; pero este método resultaba demasiado sublime y geométrico, difícil para la Marinería y limitado a las observaciones en la mar.

En esta *Teoría Completa*, Euler propone “un método para reducir todas la figuras de carena a una especie definida, que se distingue por caracteres fáciles de discernir y fáciles de certificar, en los cuales se establece el principio de la maniobra y por tanto de la construcción”.<sup>92</sup>

Como la figura de toda carena está contenida entre los límites de un prisma circunscrito a ella, sobre la base de la sección maestra, y de una pirámide inscrita y sobre la misma base, si se expresa la resistencia del prisma con la unidad, y la de la pirámide con una fórmula deducida de sus dimensiones y de las leyes del choque oblicuo del fluido, establece por datos de experiencia que la Proa, por su figura, sufre una resistencia expresada por la media armónica entre la unidad y la fórmula que expresa la resistencia de la pirámide. Por lo tanto, asumiendo en la práctica que el calado sea la mitad de la manga, la fórmula de la resistencia tanto de la nave que avanza directamente según su quilla, y la del avance de través, contienen solo los elementos de eslora y manga. Con este fundamento, partiendo del Teorema de Bernoulli, se tienen para cada una de las especies establecidas las proporciones de los ángulos de deriva y de la fuerza incidente. A partir de este principio, calcula en tablas las soluciones de todo los problemas de la maniobra, esto es, de la velocidad del curso, de máxima velocidad en el rumbo dado, de la más ventajosa disposición de las velas para todas las oblicuidades del viento, para navegar de bolina, para remontar el viento, con lo que se pueden comparar fácilmente las propiedades de las diversas especies.

Mas como la posición de la media armónica, y de la proporción entre el calado y la manga pueden ser cualesquiera, propone hallar la verdadera especie entre las siete establecidas mediante pocas y sencillas experiencias de todas las carenas dadas de naves

ya fabricadas o por fabricarse. Esto lo hace por medio de modelos a escala, cuya resistencia halla arrastrándolos en el agua con fuerzas conocidas.

Con esto llega a conocer que la nave o pertenece a la especie definida por la proporción de su longitud y anchura, o a una de grado superior o inferior como consecuencia de su figura verdadera.

“Tal es la dirección de esta Teoría, en la cual una feliz combinación de fáciles experiencias y de cálculo reduce al uso práctico las más sublimes y abstrusas doctrinas de la Hidrodinámica. Para este objetivo, a menudo se insinúa en el curso de esta obra que la extrema precisión y exactitud no pueden obtenerse, ni serían de alguna utilidad las que persigue el Geómetra.

Así en la *Ciencia Naval* dirigida a ser útil para la práctica, la precisión matemática no debe ser un obstáculo, y cuando una proporción cómoda está próxima a la verdadera, se debe preferir aquella frente a ésta. Con esta norma, se instituyen todas las otras investigaciones y cálculos sobre la acción del timón, sobre la determinación del centro de resistencia, y del lugar del palo mayor y equivalente, y finalmente sobre la acción de los remos.”<sup>93</sup>

#### Frederick av Chapman (1775)

En su obra publicada en Stockholm y traducida al francés<sup>94</sup> en 1779, Chapman se apoya en la *Méchanique* de Bézout y en la *Théorie du Navire* de Bouguer, y cita a Renau para hablar de las formas de carenas de menor resistencia.

En su Prefacio se suma el autor a Jorge Juan y otros precedentes al afirmar:

En su Prefacio considera la dificultad de conseguir desentrañar la teoría oculta en la Ciencia de la Construcción de Navíos, tanto más difícil cuanto más depende de causas físicas, por lo que reclama la conjunción de la teoría con la práctica.<sup>95</sup>

Chapman no menciona más fuentes que el *Treatise on Shipbuilding* de Murray (1754) y el *Traité des Forces Mouvantes* de Camus (1722), y no parece haber leído a Jorge Juan. Pero su traductor de 1775, Vial du Clairbois, no sólo conoce la obra de Jorge Juan sino que se apoya en sus conclusiones.<sup>96</sup>

Sin embargo, los que aprueban su traducción de Levêque en 1779 la consideran una “obra ciertamente original y la primera sobre este asunto que sale de un hombre del oficio”.<sup>97</sup>

Chapman utiliza pocas fórmulas y no explica ninguna de las que presenta.

Utiliza el término Construcción para referirse al Proyecto o a la Arquitectura.

Presenta los ensayos de remolque de 7 en estanques de formas diferentes y cita los que han hecho antes Camus y Murray.

Asume la dificultad de la Arquitectura Naval y define sus temas y sus objetivos, en los que resume los problemas que trataron Bouguer, Euler y Jorge Juan, entre otros:

“El poseer esta teoría en toda su extensión parece sobrepasar las fuerzas del espíritu humano; se está pues obligado a contentarse con una parte de esta vasta Ciencia; es decir, con saber lo bastante para darle a los Navíos las principales cualidades, que yo estimo que son:

1°. Que una Embarcación, con cierto calado, pueda contener y transportar una carga determinada.

2°. Que tenga una estabilidad suficiente y también determinada.

3°. Que se comporte bien en la mar, de manera que sus movimientos de balance y de cabeceo no sean demasiado vivos.

4°. Que ande bien con viento de popa como ciñendo, y que gane barlovento.

5°. Que no sea demasiado ardiente, y sin embargo vire fácilmente.

Pero la realidad se impone sobre la teoría, y advierte de que:

“Incluso cuando se haya seguido la teoría con la mayor exactitud, y se haya ejecutado con el mayor cuidado según las reglas, sin embargo, el Constructor puede correr el riesgo de perder su reputación. Pues aunque un Navío haya sido construido según todas las reglas que prescriben la teoría y la práctica; que sus palos y vergas estén bien colocados y en su verdadera relación; que se esté seguro en fin de que esta Embarcación posee todas las mejores cualidades; puede ocurrir sin embargo que tal Navío se comporte muy mal en la mar, lo que provendrá de las razones siguientes:

Que se empleen maniobras demasiado fuertes y motones demasiado gruesos, lo que da un peso demasiado grande arriba

Que las velas estén mal cortadas

Una mala disposición de la estiba de la carga

De la maniobra de las velas y su orientación”<sup>98</sup>

#### Pierre Levêque (1783)

La obra de Jorge Juan se publica en Francia de la mano de Pierre Levêque<sup>99</sup> en una traducción muy cuidada y respetuosa con el autor que tuvo una gran difusión en Europa, pues se vendía en 43 librerías de 19 ciudades de Francia, otras 11 de Londres, Holanda, Hamburgo y Lisboa, pero sólo en 5 de España.

Según Gabriel Ciscar en su revisión de 1793, “de ella se han entresacado algunos artículos relativos á Marina en la nueva *Enciclopedia* Francesa por orden de materias.”

En su dedicatoria a Charles-Eugene-Gabriel De La Croix, Marqués de Castries y Conde de Alais, Levêque presenta a Don Georges Juan como *uno de los más célebres geómetras y de los más grandes hombres de mar de Europa*, mostrando una admiración que amplía en su Preface, del que recogemos aquí los párrafos que se alinean mejor con nuestras propias ideas sobre el *Examen Marítimo*.

Hay que tener presente que esta traducción se publica siete años después de la *Teoría Completa* de Euler de 1776, por lo que los comentarios de Levêque adquieren mayor relevancia.

“Hay pocas obras tan interesantes para la Marina como la que se trata aquí. El Autor tenía la rara ventaja de ser uno de los más profundos Geómetras y uno de los más grandes Navegantes.”

“Ha publicado varias obras sobre la Marina, en las que se encuentra el genio de la observación y la sagacidad que debían producir el *Examen Marítimo*.”<sup>100</sup>

“El concurso de la teoría y de la experiencia es absolutamente necesario para la perfección de la Marina; y no se puede negar las dificultades que esta reunión presenta. D. Georges Juan gozaba de esta rara ventaja en el más alto grado, también ha descubierto reglas muy importantes y ha rechazado un gran número de ellas que estaban admitidas, casi sin la menor repugnancia, por los hombres más esclarecidos.”<sup>101</sup>

Tras reconocer que “La Arquitectura Naval, no puede dejar de ganar mucho con la publicación del *Examen Marítimo*, y los Marineros sacarán de él el mayor partido, para conocer las causas de las diferentes acciones y de los movimientos del Navío, y por consiguiente para esclarecer su práctica”, previene Levêque del peligro de adoptar



cambios basados en los planos sin haber hecho los cálculos pertinentes<sup>102</sup> y continúa alabando la obra original por definitiva, completa y novedosa:

“Se hallarán en esta Obra todos los recursos que se puedan desear para el conocimiento perfecto de los grandes asuntos que presentan la Construcción y la Maniobra de los Navíos. Ninguna<sup>103</sup> de las teorías dadas hasta aquí han dado resultados tan conformes con la experiencia: y se puede incluso decir, que en un gran número de casos están totalmente alejadas de ella.”

“La Ciencia del movimiento de los cuerepos sólidos y de los fluidos está presentada allí de una manera absolutamente novedosa: la teoría de la fricción y de la percusión de los cuerpos no se había contemplado hasta aquí bajo este punto de vista, o al menos no había llegado a nuestro conocimiento. Así el *Examen Marítimo* puede ser considerado como una Obra que contiene una gran cantidad de materias de Mecánica general totalmente nuevas.”

Como vemos, tampoco Levêque considera que el *Examen Marítimo* sea una obra de la Arquitectura Naval, pues ni lo sugiere.

Las observaciones y notas de Levêque al Tomo 2º constituyen por sí mismas una glosa de gran valor técnico e histórico. Su detalle y extensión las hacen merecedoras de una publicación completa, que no cabe en este trabajo. Encontramos muchas explicaciones para los principiantes, en las que desarrolla las formulaciones que Jorge Juan propone sin detenerse en los pasos intermedios, en pocas ocasiones corrige algún error de edición y en muy pocos casos disiente del Autor. Sorprende un poco que Jorge Juan no presentara los desarrollos que Levêque cree necesario añadir (para lo que siempre se refiere al *Cours de Mathématiques* de Bézout), si tenemos en cuenta que el texto parece estar dirigido a la instrucción básica de los Guardias Marinas, quienes podemos suponer que necesitarían una explicación más didáctica, como Levêque supone de los franceses. Por otra parte, Levêque no rebate ninguna de las críticas de Jorge Juan a Bouguer ni a otros autores.

Se suma al Art.18 en la necesidad de usar planos para construir, lo que reconoce que aún no era práctica habitual tampoco en Francia:

“Los que hacen construir Navíos deberían exigir al Constructor algo más que una lista de materiales estimativa. Un Plano grande y bien circunstanciado, sería sin duda muy útil. Se les exige a los Arquitectos para la construcción y la distribución de Casas más sencillas, e incluso para las decoraciones menos importantes. Con ello, los Constructores se acostumbrarían a considerar este talento como una parte esencial de su oficio. En efecto, es una de ellas; porque no hay duda de que no es sino después de que se ha decidido trazar el Plano de los Navíos, cuando el Arquitecto Naval ha hecho todo el progreso del que podemos sacar fruto. Además, con frecuencia se podrían remediar en parte los defectos que se hubieran observado en las Construcciones.”

Y sobre el trazado del cuerpo del Navío (Art.89) añade una clara alusión al Cuerpo de Ingenieros de Marina:

“El desarrollo de este método exigiría una obra aparte, por lo menos, si se hiciera con todos los detalles que la teoría indica, y que necesita la práctica. Esta tarea no puede ser realizada sino por un Constructor muy profundo en la teoría, y con una práctica consumada. Con ello se ofrecería un servicio inmortal a la Arquitectura Naval; pues todos saben, y se ha podido ver en los Capítulos precedentes, cuán defectuosos son los métodos ordinarios para trazar el Plano de los Navíos. Es principalmente al Cuerpo de

Ingenieros Constructores de la Marina, al que pertenece este trabajo, y se puede esperar un éxito completo de sus talentos y de su celo.”

Continúa exponiendo una guía metódica de cómo trazar los planos, en la que podemos percibir una velada referencia a la carencia de práctica constructora de Jorge Juan, y nos confirma que la Práctica del *Examen Marítimo* es la de su Teoría, y no la Construcción. Recomienda (Art.81) acudir a la obra de Chapman, traducida en 1775 por Vial de Clairbois para trazar los planos en la sala de gálibos, pues “sería vano buscar en otra parte los recursos que se pueden sacar de esta Obra:”

Rebate que el arrufo de la cubierta (Art.98) sea porque en el centro de hallan los desagües, ya que el barco cabecea en la mar.

Substituye la integración por trapecios de Jorge Juan por la parabólica que propone Chapman. Lo cierto es que Jorge Juan propone los trapecios aunque debía de conocer la fórmula de Simpson, que provenía de Kepler y Galileo.

Sin embargo, en el cálculo del radio metacéntrico (Art.152) reconoce que “(fuera de los extremos) este método no es más corto ni más riguroso que el denuestro Autor”.

Como en el Art.158 desarrolla una serie para la integral de  $y.z^2.dz$ , comenta que “el Autor ha separado de una manera muy elegante esta serie única de las otras dos”.

De las resistencias horizontales (Art.179): “Los ejemplos que da el Autor no pueden sino guiar en las aplicaciones que se quiera hacer de su teoría a otros Navíos.”

Del aguante de Vela (Art.196): “Esto responde a la Estabilidad, entendiendo este término en el caso del Navío en movimiento; lo que la mayoría de los Autores han ignorado considerar. Nos serviremos a menudo de esta expresión.”

Las botaduras del *Argonaute* y el *Brave* en 1781 confirman la teoría del Art.251 sobre el quebranto y añade: “Estas observaciones nos dan aún lugar para anotar que M. Bouguer está equivocado al decir (*Traité du Navire*, p.78) que conviene construir los Navíos en los Diques, para impedir que se Quebranten. Los Diques son muy cómodos para las carenas, pero no nos parecen preferibles a las Gradadas para producir el efecto que se trata; al contrario, tras un análisis exacto de los Momentos de las fuerzas que actúan en esta circunstancia, se daría preferencia a las gradadas.

Se ve pues que es de la mayor importancia ocuparse de las uniones de los Navíos y sobre todo de los grandes. Este asunto, así como el problema del que hemos hablado en nuestro Art.80, es muy digno de fijar la atención del Gobierno y de ser objeto de algunos de los premios propuestos por las Academias.”

Esta observación coincide con nuestro estudio del quebranto de los navíos del XVIII; se comprueba que el mayor perjuicio lo ocasionaban las carenas sobre chatas, y luego las varadas en dique seco.

La necesidad de bracear las vergas a grandes ángulos para sus estudios llevó a Jorge Juan a servirse de Trozas en un modelo, como una novedad. Levêque comenta (Art.275) en 1783 que “las *Trozas* son hoy muy utilizadas para las vergas bajas. Han substituido con razón a los *Racamentos* ordinarios, y resultan de gran comodidad y gran desvetajas para bracear las Velas con ángulos muy agudos, como conviene a menudo hacer cuando se navega de bolina.”

Para hallar el menor ángulo de ceñida (Art.276) Jorge Juan propone la ecuación para **Tang  $\alpha = 0,4663077 = \text{Arc}(\Pi - \pi) / (\text{Log.Sin } \Pi - \text{Log Sin } \pi)$**  que resuelve con habilidad por un método indirecto. Levêque admite que “Si se quisiera sacar directamente el valor de  $\pi$  para cada valor de  $\Pi$  se entraría en cálculos muy complicados (...) las ecuaciones de esta especie se presentan muy raramente, y han sido aún muy poco tratadas por los Analistas. Nos contentaremos pues con un método indirecto.”

La acción del Timón, el ángulo con la quilla y el momento de la fuerza del Timón (Art.292-297) merecen la atención de Levêque, que le dedica varias páginas de notas en las que desarrolla con detalle las fórmulas de Jorge Juan.

También la teoría de Jorge Juan sobre el momento del Remero con sus pies (Art.307) merece la atención de Levêque, quien anota:

“Hemos insistido mucho en este punto, porque hemos visto personas, por otra parte bastante instruidas, que consideraban esta reacción como quimérica, y que no debía entrar en el cálculo de los momentos que influyen sobre el movimiento progresivo de la Embarcación. Por un error singular, confundían esta acción de los pies del Remero contra el fondo con la que produce un hombre apoyando fuertemente contra el fondo, en sentido contrario a su movimiento progresivo, sirviéndose de un bastón, u otra cosa equivalente, acción que no puede evidentemente influir nada en la velocidad de la Embarcación.”

Una última muestra del nivel matemático del Examen Marítimo es el comentario de Levêque a los ángulos de las velas para la mayor velocidad (Art.360). Dice:

“El cálculo que conduce a este valor de **Tang  $\beta$**  [que da J-J sin desarrollarlo] casi no tiene otra dificultad que su extremada longitud: así nos contentaremos con indicar el orden que hay que seguir para llegar a ella. Sin duda, los principiantes no hallarán inútil esta atención de nuestra parte.” Y lo explica en 2 páginas de notas.

#### Vial du Clairbois (1787)

Vial compone esta obra a petición del ministro De Castries y la escribe después de haber traducido la obra de Chapman y tras estudiar la práctica de los Astilleros.<sup>104</sup>

Pretende ser un Tratado del Arte del Constructor para ofrecerlo a la Academia de Ciencias, a lo que añade una explicación de los detalles de la Arquitectura Naval que les interesan a los Oficiales de Marina.

Define por primera vez la Arquitectura Naval como compuesta de dos partes: Teórica y Práctica. La Práctica es el Arte de la Construcción y la Teoría está basada en los principios de la Hidrostática y de la Hidrodinámica.

Aunque la versión francesa del *Examen Marítimo* tiene entonces cuatro años, no la menciona, ni tampoco se hace eco de sus aportaciones, pero sus críticas al estado del conocimiento de los Geómetras personalizados en Bouguer son esencialmente las mismas que ya hiciera Jorge Juan dieciséis años antes.

#### Gabriel Ciscar (1793)

Diez años después de la edición de París se publica en Madrid el primer tomo de la segunda edición española, realizada por Gabriel Ciscar como consecuencia de su estudio para las lecciones que impartía a los Guardias Marinas de Cartagena..<sup>105</sup>

El prólogo de Ciscar responde mejor que nada a nuestro objetivo de conocer el eco del *Examen Marítimo* después de Jorge Juan, por lo que transcribimos aquí alguno de sus párrafos:

“En toda Europa se han dado repetidas muestras del aprecio que hacen los Sabios del Examen Marítimo del Excmo. Sr. D. Jorge Juan.

El título de la Obra manifiesta que su Autor tomó por objeto principal el tratar de la construcción, conocimiento y manejo de las embarcaciones; y esta parte, que desempeña completamente en el segundo Tomo de la Edición primera, es sin duda alguna la mas interesante. Pero sin embargo de esto, en los principios de la mecánica de los sólidos, que contiene el primer Libro, la teoría de la percusión, la de la fricción, y la de las máquinas tienen un mérito superior, y son casi enteramente suyas: y aun las cosas sabidas se hallan tratadas con aquella sublimidad y elegancia geométrica, que caracterizan las producciones matemáticas de un genio original.”

Confiesa Ciscar que cuando revisa los dos primeros libros de la obra de Juan para explicar el curso de Matemáticas sublimes de 1789, sus “nuevos trabajos sobre la materia me convencieron de la necesidad que teníamos de conocer mejor esta sublime Obra.”<sup>106</sup>

Se trata sólo del Libro 1 del Tomo 1º del *Examen Marítimo* y es, sin duda, el estudio más completo, cuidadoso y profundo del texto original, y con el valor añadido de ser en vivo, cuando los demás autores expresaban su opinión sobre estos mismos temas.

Excluido el Prólogo de Jorge Juan, que reproduce fielmente, son 661 páginas más las láminas, en las que analiza, comenta, comprueba y corrige sólo las primeras 119 páginas del EM, multiplicando por 4 su extensión.

Resume en 36 páginas sus comentarios y adiciones, y destaca las inexactitudes y contradicciones del Autor, que corrige con sus propias aportaciones. Resume luego los comentarios y aportaciones de Levêque en el mismo sentido y acaba con una promesa cuyo desenlace desconocemos:

“Si este primer Tomo, que contiene solo la mecánica de los sólidos, mereciese la aceptación de los Geómetras, procuraré dar en la publicación de los restantes nuevas muestras de mis vivos deseos de manifestar el inmenso fondo de la Obra que caracteriza á un D. Jorge Juan.”

## 9. ANÁLISIS LÉXICO-TÉCNICO

### *Ex abundantia cordis os loquitur*

Hemos compilado los textos del *Traité du Navire* completo y del Tomo 2º del *Examen Marítimo*, ambos sin prefacio ni índices, y los hemos sometido a un análisis lingüístico para determinar las frecuencias de aparición de cada concepto, asimilando en un sólo término todos los que son derivados suyos o están relacionados con él. Así, por ejemplo, en velas se incluyen velero y velamen, y en palos la arboladura.

En las dos tablas que siguen presentamos los 38 conceptos técnico-navales que más se usan en cada una de las dos obras, que podrían servir como índices para calificar las preferencias de cada autor y para catalogar cada uno de los textos en función de sus contenidos.

**Examen Marítimo, Tomo 2º.** Revisadas 93.783 palabras  
Frecuencias de los 38 conceptos más utilizados

Navío	1144	Gravedad	213	Fórmula	132	Palos	104
Centro	488	Proa	207	Inclinación	131	Metacentro	98
Vela	434	Resistencia	196	Nave	125	Costado	97
Peso	307	Curva	183	Práctica	118	Superficie	95
Fuerza	278	Quilla	179	Padecer	115	Timón	88
Velocidad	272	Popa	171	Madera	111	Roda	88
Viento	265	Balance	164	Construir	110	Mar	86
Momento	261	Manga	160	Aguantar	108	Fragata	84
Agua	245	Gobierno	140	Maestra	104	Movimiento	83
Altura	245	Fluido	138				

**Traité du Navire.** Revisadas 241.327 palabras  
Frecuencias de los 38 conceptos más utilizados

Nave	1226	Carena	560	Movimiento	256	Sufrir	136
Navío	837	Curva	533	Cono/ide	220	Profundidad	128
Proa	808	Fuerzas	522	Quilla	212	Maderas	108
Agua	751	Velocidad	519	Resistencia	194	Geométrico	106
Anchura	678	Gravedad	476	Potencia	187	Vergas	98
Impulsión	666	Viento	455	Inclinación	186	Cubierta	98
Centro	651	Superficie	406	Metacentro	179	Fragata	90
Velas	644	Esfuerzos	374	Fluidos	165	Práctica	90
Longitud	639	Rumbo	338	Mar	145	Varenga	85
Desplazamto	563	Sólido/dez	266				

Traducimos Nave por *Navire* y Navío por *Vaisseau*;  
Mantenemos Longitud por *Longueur* (también Eslora), Anchura por *Largeur* (también Manga) y Profundidad por *Profondeur* (también Calado)

Para comparar ambas tablas deben utilizarse las frecuencias relativas, es decir, multiplicar las del *Examen Marítimo* por  $241.327/93.783 = \text{aprox. } 2,5$ .

Navío	2860	Gravedad	535	Fórmula	330	Palos	260
Centro	1220	Proa	517	Inclinación	325	Metacentro	245
Vela	1085	Resistencia	490	Nave	313	Costado	242
Peso	767	Curva	457	Práctica	295	Superficie	237
Fuerza	695	Quilla	447	Padecer	287	Timón	220
Velocidad	680	Popa	427	Madera	277	Roda	220
Viento	662	Balance	410	Construir	275	Mar	215
Momento	652	Manga	400	Aguantar	270	Fragata	210
Agua	612	Gobierno	350	Maestra	260	Movimiento	207
Altura	612	Fluido	345				

----- x -----

## 10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

MARÍA BAIG I ALEU

Teoría matemática y práctica naval en la Ilustración

En *Quaderns d'història de l'enginyeria*, Vol.IX-2008, 249-277

LEON BATTISTA ALBERTI

Los diez libros de Architectura

*De Re Aedificatoria*. Ms.1450, Publ.Roma, 1485

Traducido del Latín en Romance por Francisco Lozano

Aprobado por Juan de Herrera en 1568

Madrid, Alonso Gómez, 1582

ALLARD (1695), VAN EYK, WITSEN (16xx)

L'Art de Batir les Vaisseaux, et d'en perfectionner la Construction, de les garnir de leur Appareux, les mettre en Funin, les Manoeuvrer, etc.

Amsterdam, David Mortier, MDCCXIX

AMONTONS

Remarques et experiences phisiques sur la construction d'une nouvelle clepsidre, sur les barometres, termometres & higrometres.

Paris, Claude Jombert, MDCXCV

JACOBI BERNOULLI

Dissertatio de Gravitate Aetheris

Amsterdami, Henr. Wetstenium, MDCLXXXIII

DANIEL BERNOULLI + L. EULER + MATHON DE LA COUR

Recherches sur la manière de suppléer à l'action du vents sur les grands vaisseaux, soit en y appliquant les rames, soit en y employant quelqu'autre moyen que se puisse être.

Fondées sur une nouvelle théorie de l'economie, des forces et des effets,

Paris, 1753

JACOBI BERNOULLI

Opera, Tomus primus

Genevae, Cramer,& Philibert, MDCCXLIV

JOHANNIS BERNOULLI

Opera Omnia, tam antea sparsim edita, quam hactenus inedita,

Tomus tertius, quo continentur ea quae ab Anno 1727 ad hunc usque diem prodierunt,

Accedunt Lectiones Mathematicae de calculo Integralium in usum Illustr.March.

Hospitalis conscriptae.

Lausanae & Genevae, Marci-Michaelis Bousquet, MDCCXLII

JOHANNIS BERNOULLI

Operra Omnia, tam antea sparsim edita, quam hactenus inedita,

Tomus quartus, quo constinentur Anecdota.

Lausanae & Genevae, Marci-Michaelis Bousquet, MDCCXLII

JEAN BERNOULLI

Essay d'une nouvelle Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux,  
Avec quelques lettres sur le même sujet.  
Basle, Jean George König, MDCCXIV

JOHANN BERNOULLI

De Motu Animalium.

Pars prima. Editio nova, a plurimis mendis repurgata, ac Dissertationibus Physico-Mechanicis de musculorum, et de effervescentia, et fermentatione.

Hagae, Petrum Gosse, MDCCXLIII

JEAN BERNOULLI

Recueil pour les Astronomes.

Tomes II et III.

Berlin, L'Auteur & J. Decker, MDCCLXXII

GEORGI BERNHARD BILFINGER

Elementa Physices, accedens ejusden Meditationes mathematico-Physicae in comentariis Acad. Scient. Imper. Petropolit. obviae cum Disquisitione de Vampyris.  
Lipsiae, Impensis Richterianis, MDCCXII

PIERRE BOUGUER

Traité du Navire, de sa construction, et de ses mouvemens.

Paris, Jombert, MDCCXLVI.

PIERRE BOUGUER

La Figure de la Terre, déterminée par les observations de Messieurs Bouguer & De la Condamine, de l'Académie Royale au Pérou, pour observer aux environs de l'Equateur.  
Paris, Charles-Antoine Jombert, MDCCXLIX.

PIERRE BOUGUER

Nouveau Traité de Navigation, contenant la Théorie et la Pratique du Pilotage.

Revu & abrégé par M. l'Abbé De La Caille.

Paris, H.L. Guerin & L.F. Delatour, MDCCLX

FREDRIK AV CHAPMAN

Traité de la Construction des Vaisseaux

Avec des éclaircissements & démonstrations touchant l'Ouvrage intitulé:

Architectura Navalis Mercatoria, &c.

Traduit du Suedois par M. Vial du Clairbois.

Brest, R. Malassis. Paris, Durand, Jombert, 1781.

CLARE

The Motion of Fluids,

natural and artificial, in particular Air and Water, in a familiar manner proposed and proved by evident and conclusive Experiments, to which are added many useful Remarks, done with such Plainness and Perspicuity, that they may be understood by the Unlearned, for whose sake is annexed, a short explanation of such uncommon terms, which in treating this subject could not, without affectation, be avoided.

London, A. Ward, et alii, 1747

SIEUR DE DASSIE

L'Architecture Navale, contenant la maniere de construire les Navires, Galeres & Chaloupes, & la Definition de plusieurs autres especes de Vaisseaux  
Avec

Les Tables des Longitudes, Latitudes & marées, Cours & distances des principaux Ports des quatre parties du Monde; une Description des dangers, Ecueils, & l'explication des Termes de la Marine. Le tout enrichy de Figures.

Paris, Jean de la Calle, MDCLXXVII.

ANTHONY DEANE

Doctrine of Naval Architecture

London, Manuscript, 1670

DUHAMEL DE MONCEAU

Traité de la Fabrique des Manoeuvres pour les Vaisseaux ou l'Art de la Coderie perfectionné.

Paris, Desaint, MDCCLXIX

DUHAMEL DU MONCEAU

Arte de fazer a Colla Forte, composta em Francez por M. Duhamel,  
Addicionada com a memoria de Mr.Chevallier sobre A Colla Fina de Peixe, ou Issin Glass dos Inglezes, e com as receitas de fazer as Taboletas de Caqldo, ou de substancia,  
Por Fr. Jose Mariano Velloso

Lisboa, Casa Litteraria, 1799

DUHAMEL DE MONCEAU

Éléments de l'Architecture Navale ou Traité Pratique de la Construction des Vaisseaux.

Paris, Charles-Antoine Jombert, MDCCLII

DUHAMEL DU MONCEAU

De l'Exploitation des Bois, ou moyens de tirer un partiavantageux des taillis, demi-futaies et hautes-futaies, et d'en faire une juste estimation, avec la Description des Arts qui se pratiquen dans les Forêts.

Premiere Partie. Seconde Partie

Paris, H.L. Guerin & L.F. Delatour, MDCCLXIV.

DURANTI DE LIRONCOURT

Instruction élémentaire et raisonnée sur la Construction-Pratique des vaisseaux, en forme de Dictionnaire.

Paris, J.B.G. Musier, MDCCLXXI

LEONHARDO EULERO (E.110)

Scientia Navalis, Sev Tractatus de Construendis ac Dirigendis Navibus.

Pars Prior, compeltens Theoriam Universam de Situ ac Motu corporum aquae innatantium.

Petropoli, Typis Academiae Scientiarum, MDCCXLIX

LEONHARDO EULERO (E.111)

Scientia Navalis, Sev Tractatus de Construendis ac Dirigendis Navibus.



Pars Posterior, in qua Rationes et Praecepta navivum Construendarum et  
Gubernandarum fusius exponuntur.  
Petroli, Typis Academiae Scientiarum, MDCCXLIX

LIONARDO EULERO

Teoria Compita della Costruzione e del Maneggio dei Bastimenti  
Traduzione dall'originale Francese con Annotazioni  
Di Simone Stratico, Pub. Prof. di Mathematica e Teoria Nautica nell'Univrsità de  
Padova.  
Padova, MDCCLXXVI

LEONARD EULER (E.426)

Théorie Complete de la Construction et de la Manoeuvre des Vaisseaux,  
Mise a la portée de ceux qui s'appliquent à la Navigation.  
Paris, Claude-Antoine Jombert, MDCCLXXVI  
Acad. S.Peterburg, 1773

L. EULER (E.116)

Memoire sur la force des rames  
Acad. Berlin, 1749

L. EULER (E.078)

Dissertation sur la meilleure construction du Cabestan.  
Acad.Paris, 1741

L. EULER (E.137)

Examen Artificii Navis  
A principio motus interno propellendi quod quondam ab acutissimo viro Jacobo  
Bernoulli est propositum.  
Acad. St.Peterburg, 1750

L. EULERO (E.229)

De constructione aptissima Molarum Alatarum.  
Acad. St.Peterburg, 1758

L. EULER (E.413)

Memoire sur la maniere la plus avantageuse de suppléer a l'Action du Vent sur les  
Grandes Vaisseaux.  
Présenté à l'Académie à l'occasion du Prix de 1753.

LEONARD EULER (E.520)

Essai d'une Théorie de la Résistance qu'éprouve la Proue d'un Vaisseau.  
Acad. Paris, 1778

L. EULERO (E.545)

De vi Fluminis ad Naves sursum trahendas applicanda  
Acad. St.Peterburg, 1783

L. EULER (E.832)

Von der Kraft der Rammen, Pfähle einzuschlagen.

Acad. St.Peterburg, Ms.1772

WILLIAM FALCONER

An Universal Dictionary of the Marine: or a copious explanation of the technical terms and phrases employed in the construction, equipment, furniture, machinery, movements, and miliutary operations of a Ship.

London, T.Cadell, MDCCLXXXIV

JOSEPH FURTTENBACH

Architectura Navalis, das ist Von dem Schiff Gebaew/Auff dem Meer und Seefusten zugebrauchen, etc.

Ulm, MDCXXIX

ANTONIO GAZTAÑETA YTURRIBÁLZAGA

Proporciones de las medidas más esenciales para la fábrica de navíos y fragatas de guerra, que puedan montar desde 80 cañones hasta 100, con la explicación de la construcción de la barenga maestra, plano y perfil particular de un navío de 70 cañones, con los largos, gruesos y ancatos de los materiales, escrito de orden del Rey.

Madrid, 1720.

FRANCICO GONZÁLEZ DE POSADA

Jorge Juan: innovador de la Educación Superior en la España ilustrada

En Revista Complutnse de Educación, Vol.19, Num.1 (2008) 115-135

GUILLAUME JACOB'S GRAVESANDE

Elemens de Physique demontrez mathematiquement et confirmez par des experiences ou Introduction a la Philosophie Newtonienne

Tome premier

Leide, Jean Arn. Langerak, MDCCXLVI

GUILLAUME JACOB'S GRAVESANDE

Physices Elementa Mathematica Experimentis Confirmata sive

Introductio ad Philosophiam Newtoniam

Tomus primus

Genevae, Henricum-Albertum Gosse, MDCCXLVIII

ROBERT HOOKE

Philosophical Experiments and Observations of the late eminent Dr.Robert Hooke and Geom. Prof. Gresh and other eminent virtuous in his time.

London, J.Innys, MDCCXXVI

P. L'HOSTE

Recueil des Traités de Mathematique, qui peuvent être necessaires à un Gentiul-homme, pour servir par mer, ou par terre.

Tome troisième.

9me traité: La Navigation. 10me traité: La manœuvre des Vaisseaux.

París, J. Anisson, MDCXCII

P. L'HOSTE

Naval Evolutions or a system of Sea-discipline.

Confirmed by Experience and adapted to the use of the British Navy, to which are added An Abstract of the Theory of Ship-building, An Essay on Naval Discipline and A General idea of the Armament of the French Navy.  
London, W. Johnston, MDCCLXII

P. L'HOSTE

A Compendious Course of Practical Mathematics, particularly adapted to the use of the Gentlemen of the Army and Navy.  
Vol.I, containing Elements of Euclid, Trigonometry, Practical Geometry, Mechanics, Fortification, Gunnery.  
Translated by William Webster, corrected by S.Clarke.  
London, H.Woodfall, etc. MDCCLXIX.

CHRISTIAN HUYGENS

An Introduction to Natural Philosophy, or Philosophical Lectures read in the University of Oxford, Anno Dom. 1700, to which are added the Demonstrations of Monsieur Huygens's Theorems, concerning the Centrifugal Force and Circular Motion.  
London, M.Senex et alii, MDCCXLV

CHRISTIAAN HUGENII ZULICHEMII

Dum viveret Zelemii Toparche  
Volumen Primum  
Bibliopolas, Janssonios, MDCCXXIV

JORGE JUAN

Examen Marítimo Theórico Práctico, ó Tratado de Mechanica aplicado á la Construcción, Conocimiento y Manejo de los Navíos y demás Embarcaciones.  
Tomo Primero y Tomo Segundo  
Madrid, Francisco Manuel de Mena, MDCCLXXI

JOHN KEILL

M.D. Profesor Saviliano de Astronomía y FRS.  
An Introduction to Natural Philosophy:  
or Philosophical Lectures Read in the University of Oxford, Anno Dom.1700  
To which are added, the Demonstrations of Monsieur HUYGENS's theorems, concerning the Centrifugal Force and Circular Motion.  
Cuarta Edición, traducida de la última en Latín.  
London, M.Senex & alii, MDCCXIV

M. DE LA LALANDE

Traité du Flux et du Reflux de la Mer, d'après la Théorie et les Observations.  
Extrait du quatrième Volume de l'Astronomie.  
Paris, Desaint, MDCCLXXXI

JOÃO BAPTISTA LAVANHA

O Livro primeiro de Architectura Naval  
Lisboa, Ms, 1618  
Academia de Marinha, Lisboa, 1996

D.D. MAC-LAURIN

De causa physica fluxus et refluxus maris.  
PRIMERA PAGINA SIN MAS DATOS

PIERRE LEVÊQUE  
Traduction du l'Examen Maritime de D. Georges Juan  
Paris, 1782

MARIOTTE  
Traité du Mouvement des Aeaux et des aotres corps fluides.  
Paris, Estienne Michallet, MDCLXXXVI

MARIOTTE  
Oeuvres de Mariotte, de l'Académie Royale des Sçiences  
Tome Premier. Tome Second  
La Haye, Jean Neaulme, MDCCXL

MUNGO MURRAY  
A Treatise on Ship-Building and Navigation  
To which is added by way of Appendix an English Translatrion of another Treatise on  
Naval Atrchitecture, lately published at Paris by M.Duhamel  
London, D.Henry & R.Calve, MDCCLIV

MUNGO MURRAY  
Supplement to the Traetise on Ship-building  
Containing extracts translated from M.Bouguer's Traité du navire, together with  
M.Duhamel's Method of finding the Centre of Gravity  
London, A.Millar, MDCCLV

ISAACO NEWTONO  
Philosophiae Naturalis Principa Mathematica  
Tomus Primus  
Barrillot, MDCCXXXIX

ISAAC NEWTON  
Vol.I  
London, Symonds, 1803

ISAACO NEWTONO  
Philosophiae Naturalis Principia Mathematica  
Vol II  
Glasgow, G. Broookman, MDCCCXXXIII

ISAACO NEWTONO  
Philosophiae Naturalis Principa Mathematica  
Volumen tertium  
Glasgow, m. Duncan, 1822

ISAAC NEWTON  
Philosophia Naturalis Principia Mathematica  
Ed. A. Eschohotado

Madrid, 1981

HORST NOWACKI

Leonhard Euler and the Theory of Ships

Max Planck Institut fur Wiessenschaftsgeschichte

Berlin, 2007

P. OLIVEIRA

Livro da Fabrica das Naos

Ms. Ca..1580

Lisboa, Academia de Marinha, 1991

BLAISE OLLIVIER

Traité de Construction

Ms. 1736

IGNACE GASTON PARDIES

Elemens de Geometrie où par une methode courte & aisée l'on peut apprendre ce qu'il faut sâvoir d'Euclide, d'Archimede, d'Apollonius, & les plus belles inventions des anciens & des nouveaux Geometres.

La Haye, Adrian Moetjens, MDCLXXXX

IGNACE GASTON PARDIES

La Statique ou la Science des Forces Mouvantes.

París, Sebast. Mabre-Cramoisy, MDCLXXIV

IGNACE GASTON PARDIES

Discours du Movement Local.

París, Edme Martin, MDCLXX

IGNACE GASTON PARDIES

Lettre d'un philosophe a un Cartesien de ses Amis.

Paris, Estienne Michallet, MDCLXXIII

IGNACE GASTON PARDIES

Oeuvres de Matematiques contenant Elemens de Geometrie, Discours du Mouvement Local, La Statique et Deux Machines propres à faire Les Cadrans.

La Haye, Adrian Moetjens, 1691

ANTOINE PARENT

Éléments de Méchanique et de Physique où l'on donne géométriquement les principes du choc & des équilibres entre toutes sortes de corps.

París, Florentin & Pierre Dalaulne, MDCC

HENRI PITOT

La Theorie de la Manoeuvre des Vaisseaux, reduite en pratique ou les principes et regles, por naviguer le plus avantegeusement qu'il est possible.

París, Claude Jombert, 1731

BERNARD RENAU D'ELIZAGARAY

De la Theorie de la Manoeuvre des Vaisseaux  
Paris, Estienne Michallet, MDCLXXXIX

THOMAS RIVIO  
Historiae navalis mediae libri tres  
Londini, Richardum Hodgkinsonne, MDCCXL

ALEXANDRE SAVÉRIEN  
La Mâtüre discutée et soumise à des nouvelles loix  
Brest, 1747

F. SEIXAS Y LOVERA  
Theatro Naval Hydrographico. De los fluxos, y refluxos, y de las corrientes de los mares, estrechos, aechipiélagos y passages aquales del Mundo, y de lass diferencias de las variaciones de la aguja de marear, y efectos de la Luna, con los vientos generales, y particulares que reynan en las quatro regiones marítimas del Orbe.  
Madrid, Antonio de Zafra, 1688.

JULIÁN SIMÓN CALERO  
La Mecánica de los Fluidos en Jorge Juan  
En *Asclepio*-Vol.LIII-2-2001, 213-280

JOHN SMEATON  
Account of some Experiments upon a Machine for Measuring the Way of a Ship at Sea  
London, MDCCLIV

JOHN SMEATON  
An Experimental Enquiry concerning the natural Powers of Water and Wind to turn Mills and otherf Machines depending on a circular Motion.  
London, MDCCLX

STALKARTT  
Naval Architecture (1787)  
Ed. Facs. London, J. Boudriot, 1991

WILLIAM SUTHERLAND  
The Shipbuilder's Assistant  
Rotherfield, 1711  
Ed.Facs. East Essex, J.Boudriot, 1989

WILLIAM SUTHERLAND  
Britain's Glory. Shipbuilding Unveiled  
London, 1717

VIAL DU CLAIRBOIS  
Traité élémentaire de la construction des Vaisseaux à l'usage des élèves de la Marine  
Paris, Clousier, MDCCLXXXVII

MARCUS VITRUBIUS POLLONIS  
De Architectura libri decem

Lugduni, Joan Tornaesium, MDLII

JOHANNIS WALLIS

Geometriae Professoris Saviliani in Celeberrima Academia Oxonensi

Mechanica sive De Motu, Tractatus Geometricus

Pars Prima, In qua:

De Motu Generalia; De Gravium Descensu et Motuum Declivitate: De Libra

Little Britain, Gulielmi Godbid, MDCLXX

JOHANNIS WALLIS

Geometriae Professoris Saviliani in Celeberrima Academia Oxoniensi

Elenchus Geometriae Hobbianaë sive Geometricorum, quæ in ipsius *Elementis Philosophia*, à Thoma Hobbes, Malmesburjensi profetuntur.

Refutatio

Oxoniae, Johannis Crook, 1655.

JOHANNIS WALLIS

Geometriae Professoris Saviliani in Celeberrima Academia Oxonensi

De Algebra Tractatus Historicus et Practicus

Cum varii Appendicibus

Oxford, MDCCXCIII

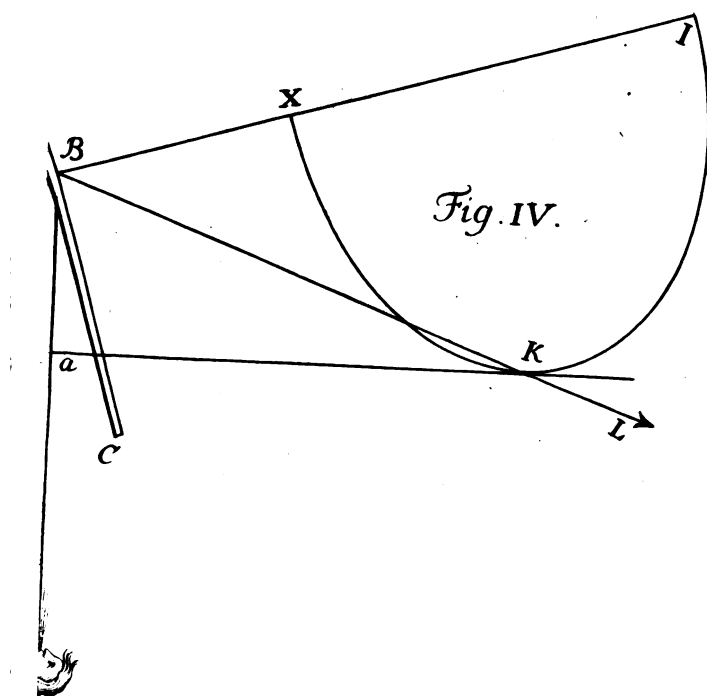
NIKOLAAS C. WITSEN

Aeloude and hedendaegsche Sheepsbouw en Bestier

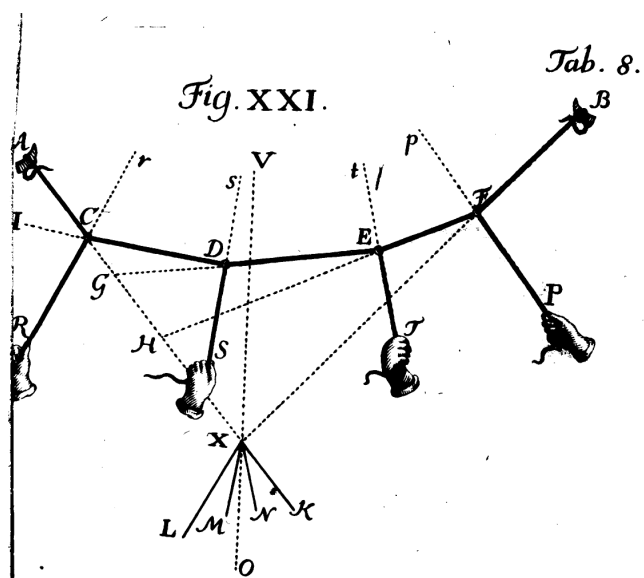
*Architectura navalis et reginem nauticum*

Amsterdam, 1671

# 11. FIGURAS

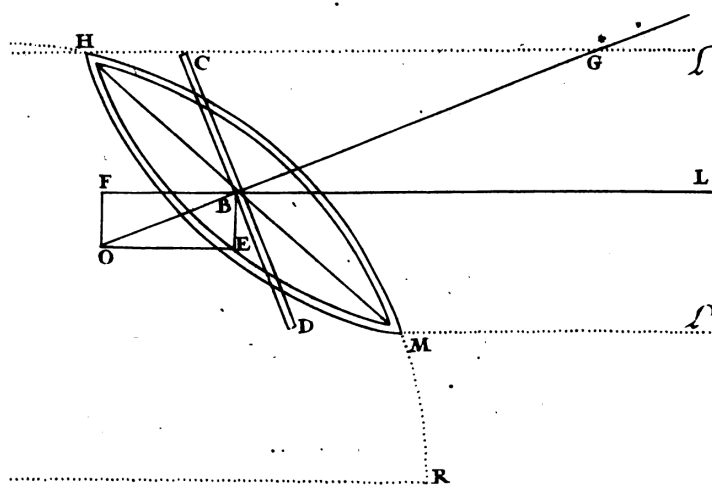
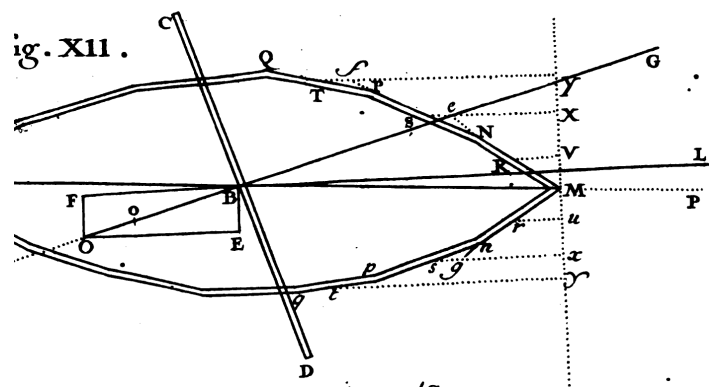


BERNOULLI: *Essai* (1714). Acción del viento en la vela plana



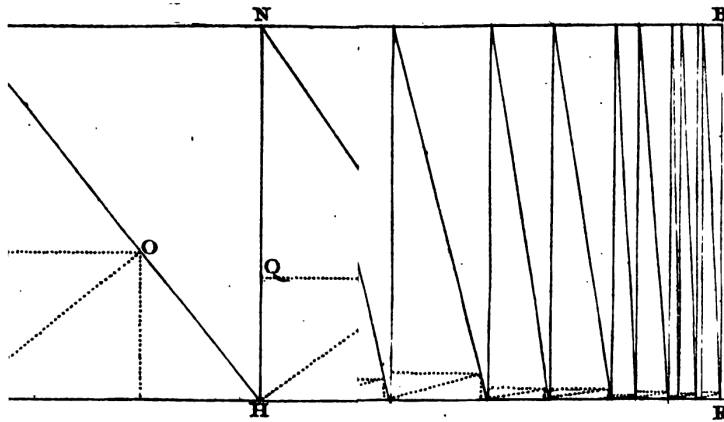
BERNOULLI: *Essai* (1714). Curva de un cabo o una vela



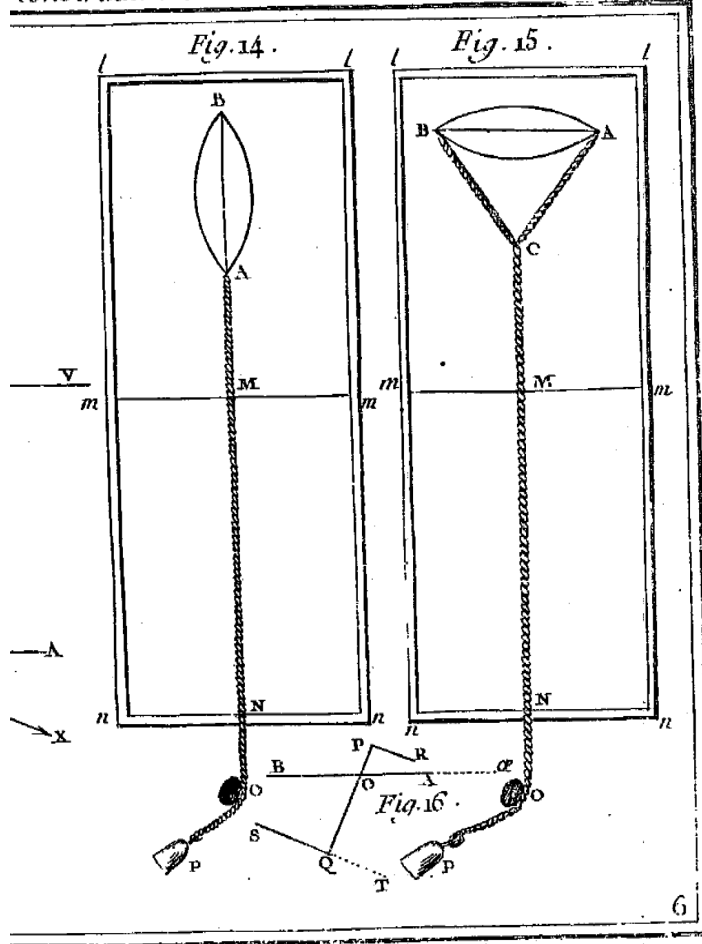


PITOT: *Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux* (1731)



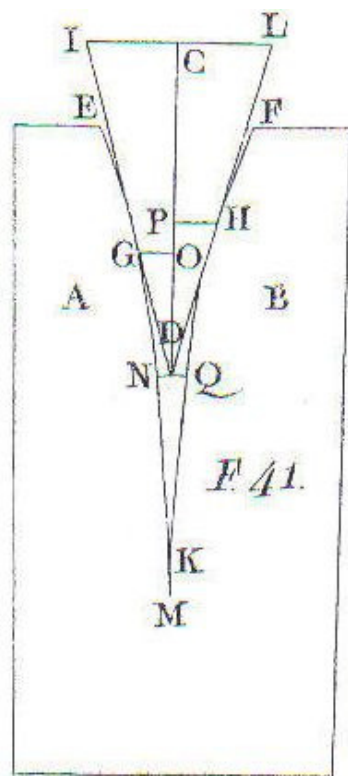


**DUHAMEL:** *Éléments de l'Architecture Navale* (1758)

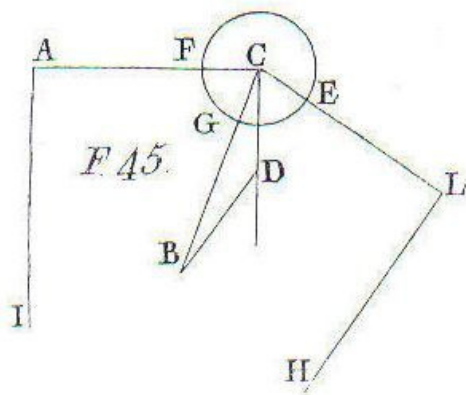


EULER: *Théorie Complete* (1776). Ensayos de resistencia con modelos

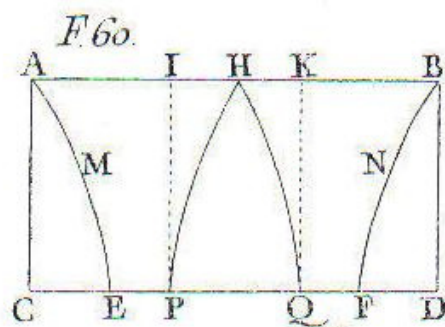
Figuras del *Examen Marítimo*



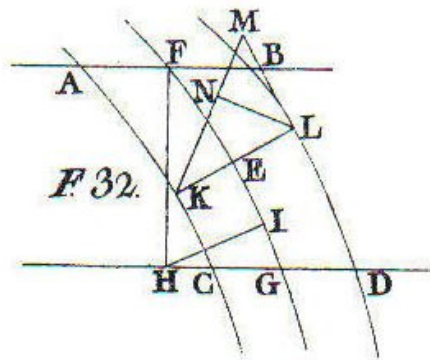
EM1-41



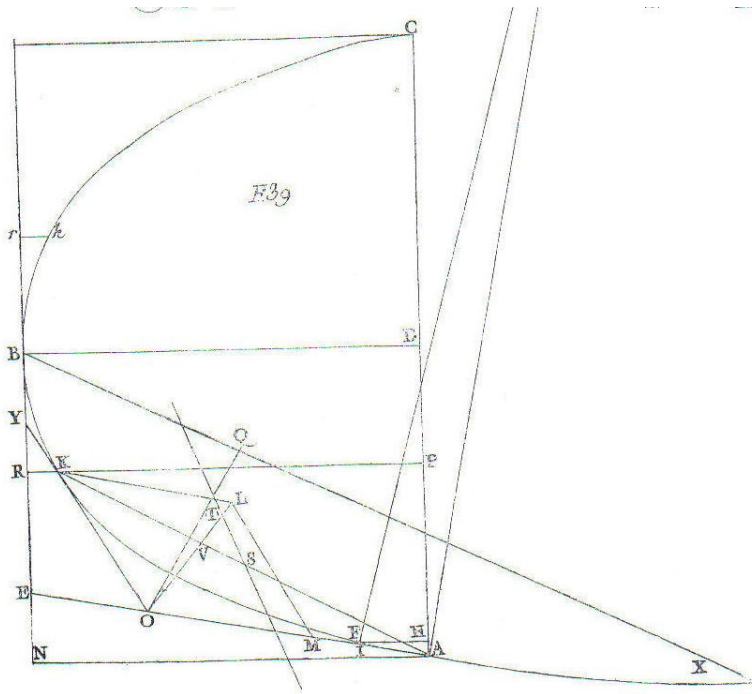
EM1-45



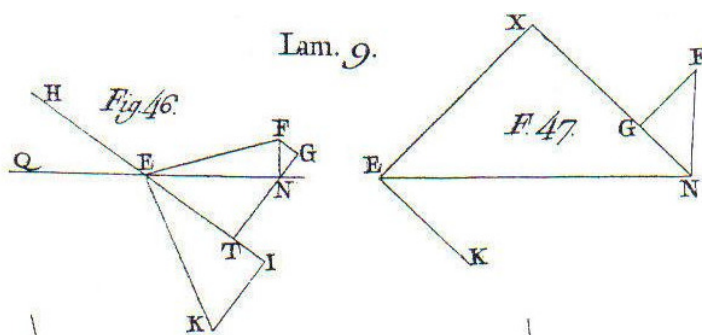
EM1-60



EM2-32

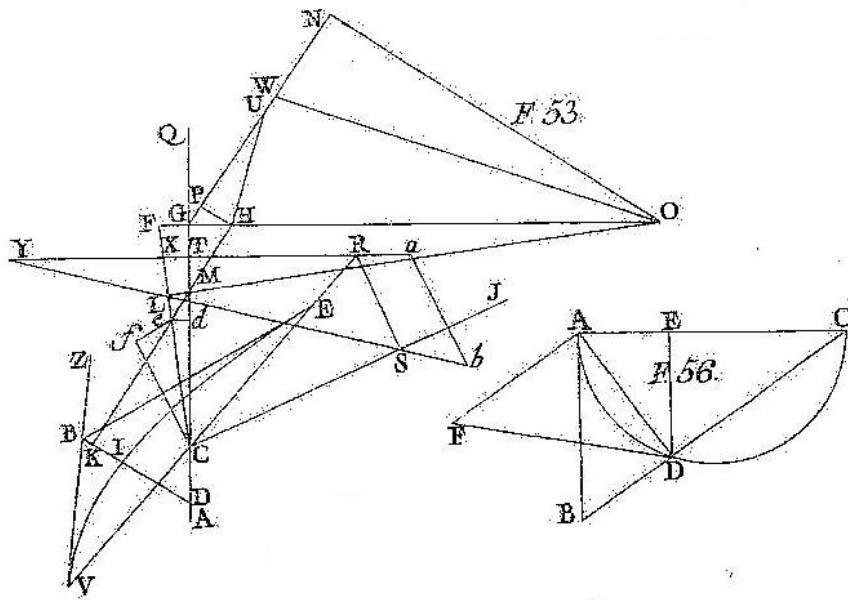


EM2-39



EM2-46-47





EM2-53-56



## NOTAS

---

En las referencias bibliográficas de la época transcribo el título completo y el autor, en el orden en que aparecen en las portadas de los libros que he consultado y que se relacionan en las Referencias.

<sup>1</sup> Esta cita, que Jorge Juan usa como lema para abrir su Examen Marítimo, la encontramos en otra obra de veinte años antes, sin embargo ausente de la biblioteca de nuestro autor :

*Historiæ navalis mediæ libri tres*, de Th. Rivio, regis in Anglia advocato.  
Londini, Richardum Hodgkinsonne, MDCCXL

<sup>2</sup> Aunque lo citaremos así abreviado, el título completo de la edición que hemos consultado, y al que me referiré en el texto, es:

*Examen Marítimo Teórico Práctico o Tratado de Mecánica aplicado a la Construcción, Conocimiento y Manejo de los navíos y demás Embarcaciones*. Madrid, Francisco Manuel de Mena, MDCCLXXI.  
Ed. Facsímil del Instituto de España, Madrid, 1968.

<sup>3</sup> Por encargo del ministro Maurepas, Duhamel du Monceau, entonces Inspector General de Marina, creó en 1741 la *Petite École* para la formación teórico-práctica de los constructores navales franceses, sucediendo a la escuela creada por Colbert en La Guette, en 1663. En la *Ordonnance du Roi concernant la marine* de 1765 se identifican los ingenieros académicos con los constructores que son responsables del proyecto y de la fábrica de los navíos. (Cf: J.M. Sánchez Carrión, *Tesis Doctoral*, 2010)

<sup>4</sup> La *Ordenanza del Cuerpo de Ingenieros de Marina* la firma el Rey el 10 de Octubre de 1770. Arriaga ordena a F.Gautier que organice un Cuerpo de Ingenieros-Constructores, pero ya el 24 de Abril de 1769 el propio Gautier le había comunicado a Arriaga que había recibido del Rey tal encargo. Podemos suponer que, estando Jorge Juan relacionado en la Corte, debía conocer todo esto, y cuando utiliza el término Constructores debe de reconocer en ellos las competencias que ya tienen como Ingenieros del Cuerpo.

<sup>5</sup> Simón Calero, Julián: *La Mecánica de los Fluidos en Jorge Juan*, en *Asclepio*, Vol.LIII-2-2001, pg.216.

<sup>6</sup> Juan: Op.cit. Prólogo, pp.xxii-xxiii

<sup>7</sup> Ibid, pag.xxx

<sup>8</sup> Simón Calero: Op.cit. pg.214.

<sup>9</sup> *Application de l'Algebre á la Géometrie, ou Méthode de Demontrer par l'Algebre les Théorèmes de Géometrie et d'en résoudre et construire tous les Problèmes*. L'on y a joint une Introduction qui contient les Regles du Calcul Algebrique. M. Guisnée de l'Académie Royale des Sciences, Professeur Royal de Mathematique et Ancien Ingenieur Ordinaire du Roy. Jean Boudot, Paris, MDCCV.

Dedicada "a instruir a los que quieren aplicarse a las Matemáticas y tratar todas las partes de ella algebricamente", "explica los Métodos para demostrar por el Álgebra todos los teoremas de Geometría, y de resolver y construir todos los Problemas determinados e indeterminados, geométricos y mecánicos. En una palabra, se explican todos los usos que pueden hacerse del Algebra común, en todas las partes de las Matemáticas, siempre que se expresen con líneas las magnitudes que son su objeto."

Hace la Mecánica y la Geometría partes de la Matemática y cita "la excelente Obra del difunto Sr.

Marqués de l'Hôpital, *l'Analyse des infinimens Petits pour l'intelligence des lignes courbes* (1696), que ha tenido a la vista para componer esta obra.

Este libro estaba en la biblioteca de Jorge Juan, como también el de Robillard (1753): *Application de la géometrie ordinaire et des calculs différentiel et intégral à la resolution de plusieurs problèmes*.

<sup>10</sup> Como ejemplos, estos son algunos títulos anteriores a 1771:

José Assin y Palacios de Ongoz – 1712

*Florilegio theorico-practico: nuevo curso quimico en que se contienen ...*

Giovanni da Vigo, Joseph Ferreyra de Moura – 1713

*Syntagma chirurgico theorico-practico*

Antoine Parent – 1714

*Traité d'Arithmetique Théori-pratique*

Juan Bautista Corachan – 1735

*Arithmetica demostrada theorica-practica para lo mathematico y mercante ...*

---

<sup>11</sup> DRAE, 1780: *Geometría*

<sup>12</sup> En el Prólogo de Jorge Juan hallamos:

(...) el supuesto de que sea la velocidad del viento infinita y nula la deriva: ambas suposiciones bien apartadas de lo que realmente sucede en la práctica (p.ix)

La sublime theórica de los *Bernoullis*, poco ó nada adaptable á la práctica (p.xi)

(...) M.Pitot carecía enteramente de práctica, lo que le hizo juzgar á arbitrio de las operaciones del Mar y de los Marineros, atribuyéndoles hechos que jamas se han visto (p.xii)

(...) consideración que no previno el Autor [Bouguer] sin embargo de su mucha ciencia y perspicacia:

estos son unos hechos que se descubren con alguna práctica, y que se dificultan sin ella (p.xii)

(...) que á haber concurrido en tan digno Autor [Bouguer] la práctica necesaria para descubrir los errores que resultan de los falsos supuestos theóricos (p.xiii)

(...) El especial orden y sublime Geometría con que trata todos los asuntos tan gran Maestro [Euler], es digno de admiración: hubiera sido un tesoro de la Ciencia, y particularmente de la Marina, si á semejante destreza hubiera acompañado la práctica (xiv)

<sup>13</sup> Bouguer, Pierre: *Traité du Navire, de sa Construction et de ses Mouvements*.

Jombert, Paris, MDCCXLVI

Para ilustrar lo que decimos, basta adelantar este párrafo sacado de su Prefacio (p.xxii):

“Que se haga intervenir por el contrario las luces de la Especulación: es cierto, y no podría decirlo demasiadas veces, que siempre será necesario unir a ella las experiencias o esos conocimientos de hecho en los cuales consiste la Práctica; mas la Teoría se servirá de ellos enseguida como principios, sacará de ellos inducciones seguras; y extendiendo su visión a todos los otros casos, y hasta el infinito, pues ella no se detiene en los mismos límites que la Práctica, ella tomará efectivamente el lugar de una infinidad de otras experiencias que jamás hubiera sido posible ejecutar. “

<sup>14</sup> *O Livro Primeiro da Architectura Naval*. João Baptista Lavanha. Manuscrito ca. 1614.

Ed. Facsímil de la Academia de Marinha, Lisboa, 1996.

<sup>15</sup> Ibid, Cap.1

<sup>16</sup> *Treatise on Naval Architecture or Theory and Practice blended in Ship Building*. John W Griffiths, Marine and Naval Architect. New-York, 1850.

De nuevo se mezclan la Teoría y la Práctica para esta disciplina.

<sup>17</sup> Griffiths, John Willis: *Treatise on Marine and Naval Architecture, or Theory and Practice blended in Shipbuilding*. D.Appleton, New York, MDCCCCLIV

<sup>18</sup> Lavanha: Op.cit.Cap.4

<sup>19</sup> *Livro da Fabrica das Naos*. P.Oliveira. Manuscrito ca. 1575

Ed. Facsímil de la Academia de marinha, Lisboa, 1991. Prólogo.

<sup>20</sup> Ibid, Cap.6

<sup>21</sup> *De Architectura Libri Decem ad Cæsarem Augustum*. Marcus Vitruvius Pollo  
Jean Tornæsium, Lugduni, MDCII. Cap.ix. Hodómetro.

<sup>22</sup> Ibid, Lib.v, Cap.xii, Astilleros

<sup>23</sup> *De Re Ædificatoria*. León Battista Alberti. Ms de 1450; Publ. Roma, 1485.

Traducido del Latín en Romance por Francisco Lozano. Aprobado por Juan de Herrera, 4 Agosto 1568  
Alonso Gómez, Madrid, 1582

<sup>24</sup> *Architectura Navalis*, das ist: Von dem Schiff Gebaew/Auff dem Meer und Seefusten zugebrauchen und Nemlich/ In was Form und gestallt/ Fuers Erste/ Ein Galea, Galeazza, Galeotta, Bergantino, Filucca, Fregata, Liudo, Barchetta, Piatta: Zum Andern/ Ein Nave, Polaca, Tartana, Barcone, Caramuzzala, und ein gemeine Barca, (welche samplich zu Krieg: und Friedens Zeitten an sesso in den Vornembsten Meer

---

Porten zu finden:) nach verständlicher/ gewisser Regul/ und unfehlbarer beständiger Ordnung follen erbawen werden Allen/ Auss den Meerpracticirten Liebhabern/ Wie Etc. etc.

Joseph Furtenbach. Jonam Taurin, Sacra Romana Imperial Ciudad de Ulm, MDCXXIX

<sup>25</sup> *Doctrine off/ for Naval Architecture*. Anthony Deane. Ed. Brian Lavery, Conway, 1981.

Manuscrita en 1670 a petición de Samuel Pepys. Parece que a resultas de las clases de C.Naval que entre 1663-1664 Deane le dio a Pepys, sólo 5 años mayor que él.

Se dice que tras la huida de Jacobo II, después de la victoria de Guillermo de Orange (1686), Deane se retiró de lo oficial. Parece que enseñó la construcción naval a Pedro El Grande y envió a su hijo a Rusia. Durante sus solo 10 años con la Royal Navy construyó 25 barcos, y su actividad como Constructor marcó el despegue de la C.Naval inglesa, con la evolución de sus navíos y la utilización de conceptos de la Arquitectura Naval.

<sup>26</sup> *L'Architecture Navale ou Manière de Construire les Navires, Galeres et Chaloupes & la Definition de plusieurs especes de Vaisseaux*. Sieur de Dassy. Jean de La Caille, paris, MDCLXXVII.

<sup>27</sup> Deane: Op.cit. pg.21

<sup>28</sup> Ibid, pg.24

<sup>29</sup> Gaztañeta Yturriáizaga, Antonio: *Proporciones de las medidas más esenciales para la fábrica de navíos y fragatas de guerra, que puedan montar desde 80 cañones hasta 100, con la explicación de la construcción de la barenga maestra, plano y perfil particular de un navío de 70 cañones, con los largos, gruesos y ancatos de los materiales, escrito de orden del Rey*. Madrid, 1720.

<sup>30</sup> Navarro Mallebrera, Rafael y Navarro Escolano, Ana María: *La Biblioteca de Jorge Juan*.

Instituto de Estudios Juan Gil-Albert, Alicante, 1987.

Entre los 408 libros que se incluyen en este estudio, hemos encontrado: 31 relacionados con la Arquitectura Naval; 18 con la Navegación; 6 con la Maniobra; 5 con la Hidráulica o los Flúidos; y 5 con la Construcción naval. Nos llama la atención que falten autores como Hoste, Pardies y Parent, y echamos de menos a Chauchot, a Huygens en su debate con Renau y a Bézout, nombrado examinador de Guardias Marinas en 1763.

<sup>31</sup> Bouguer: Op.cit. Prefacio.

<sup>32</sup> *Elements de Geometrie, où par une methode courte et aisée, l'on peut apprendre ce qu'il faut sçavoir d'Euclide, d'Archimede, d'Apollonius, et les plus belles inventions des anciens et des nouveaux Geometres*. Ignace Gaston Pardies. 4me. Ed. Adrian Moetjens, La Haye, MDCLXXX.

Lamenta que "la excelente Obra de M. Wallis que aguardábamos tanto tiempo", la *Méchanique & de Science du Mouvement*, "excelente en sí y admirable, es más propia para contentar a los que ya son consumados en esta ciencia que para instruir a los que quieren aprenderla. Pues además de que hace falta que comprenda todo, está escrita de una manera tan sabia y tan geométrica, que hay muy pocas personas capaces de entenderla", y presenta un ejemplo del movimiento de un Navío con el que hace notar el uso que puede hacerse de las reglas de la Mecánica.

Otras obras de Pardies se pueden consultar en:

*Œuvres du R.P. Pardies, Contenant Les elements de Geometrie, Un discours du Mouvement Local, La Statique, ou la Science des Forces Mouvantes, Deux Machines propres à faire les Quadrans, Un Discours de la Connoissance des Bêtes. Augmenté dans cette nouvelle Edition d'une Table pour l'intelligence des Elemens de Geometrie, selon Euclide*. Bruyset, Lyon, MDCCXXV

<sup>33</sup> *A History of Naval Architecture, to which is prefixed an Introductory Disertation on the Application of Mathematical Science to the Art of Naval Construction*. John Fincham, Master Shipwright of H.M. Dockyard, Portsmouth, and author of *An Outline of Ship-building, A Treatise of Mastings Ships and Directions for Laying-off ships*. Whittaker, London, 1851. p.xi

<sup>34</sup> *De la Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux*. Bernard Renau d'Elizagaray. Estienne Michallet, Paris, MDCLXXXIX

Es la primera obra impresa sobre la Maniobra, la que sentará el tema que perseguirán otros, hasta Jorge Juan. Jean Bernoulli comenzará su obra con las mismas ideas.

Se propone determinar la situación más ventajosa de las velas y de la Proa del Navío, en relación con el viento y con la ruta que se propone hacer.

“Las verdades sencillas han sido demostradas por la Geometría ordinaria. Que se ha servido del Análisis, para hallar las verdades más complicadas”, y “se ha ignorado la exactitud Matemática, cuando una proporción cómoda ha sido sensiblemente la misma que la verdadera; lo que a menudo es necesario para la práctica.”

Se trata de una obra clara y concisa, que define los problemas esenciales de la maniobra que luego serán más complicados en los autores sucesivos.

Entre sus conclusiones encontramos:

Cap.I. La fuerza sobre la vela plana es proporcional al Area, al cuadrado de la velocidad del viento y al cuadrado del seno del ángulo del viento sobre la vela plana.

Recíprocamente, la fuerza que recibe el Navío es proporcional al cuadrado de su velocidad y al cuadrado del seno del ángulo del viento en la vela, por lo que la velocidad del navío es proporcional al seno del ángulo de ese ángulo de incidencia.

Cap.II. Art.I. La Deriva es una porción de la caída lateral teórica según la normal a la vela, en proporción de la resistencia de proa a la de costado.

Art.IV. Presupone que la relación entre las resistencias de costado y de proa es una cantidad constante en cada navío y que con el timón a la vía el navío avanza paralelo a sí mismo.

Art.V. Supone que la acción del timón hace virar el barco pivotando sobre su CdG.

Cap.VII. Halla que el ángulo de la caña con la quilla debe ser de 55°.

Cap.IX. Reduce el efecto de la curvatura de la vela a una resultante, pero no la sitúa ni tampoco calcula su valor.

<sup>35</sup> *Essay d'une Nouvelle Théorie de la Manoeuvre des Vaisseaux. Avec quelques lettres sur le même sujet.*

Jean Bernoulli. Jean G. König, Basle, MDCCXIV

Dice el autor: “Viendo pues por una parte que toda la Teoría del Sr. Caballero Renau estaba por entero fundamentada sobre principios erróneos, y por la otra que el Sr.Huguens, el famoso Geómetra, se había contentado con refutar aquellos principios que conciernen a la Velocidad del Navío sin substituir nuevas reglas por las del Sr. Caballero Renau que acababa de revolver: He creído hacer partícipe al Público de mis descubrimientos sobre un asunto importante.”

<sup>36</sup> *Recueil des Traités des Mathématique, qui peuvent être nécessaires à un Gentil-homme, pour servir par mer, ou par terre.* P. Hoste, S.J. J.Anisson, Paris, MDCXCII

En el Traité X. *De la Manœuvre des Vaisseux*, advierte :

« Aunque la maniobra sea sin contradicción lo más importante que hay en la Marina ; se ha olvidado hasta aquí hacer un tratado completo de ella. »

Y alude al secretismo de estos temas entre las Marinas:

« Esto es lo que me ha obligado a hacer un tratado de ella, en el que he intentado explicar por orden todos los movimientos del navío, con las reglas que tienden a dárselos a propósito. He puesto en él lo más claramente que he podido todo lo que me ha parecido propio para mi proyecto; y he creído que tenía mucho más que temer que se me reprochara haber omitido cosas que yo debía hacer saber a aquéllos para los que he escrito; que haber publicado lo que debía dejar ignorar a los extranjeros. »

Se conserva la ingenua explicación corpuscular de la acción del viento:

« Cuando el viento que choca en la vela refresca ocurren dos cosas. 1, Cada una de las partículas que lo componen empuja la vela con más fuerza. 2, Un mayor número de estas partículas choca en la vela al mismo tiempo. De donde resulta que el movimiento que el viento le imprime a la vela crece en razón doble de su fuerza, que no es otra que la velocidad de los cuerpos que la componen. »

El interés de la Royal Navy por le obra de Hoste produjo la traducción inglesa que se publica 70 años después del original en:

*Naval Evolutions, or a System of Sea-Discipline. Extracted from the celebrated Treatise of P. L'Hoste. Confirmed by Experience. Illustrated by Examples from the Most Remarkable Sea-Engagement between England ... and Adapted to the use of the British Navy. To which are added An Abstract of the Theory of Ship-Building, An Essay on naval Discipline, A General Idea of the Armament of the French Navy.*

Christopher O'Bryen. W.Johnston, London, MDCCLXII

Y todavía 7 años más tarde se sigue estudiando la obra de Hoste en Inglaterra :

*A Compendious Course of Practical Mathematics. Particularly Adapted to the use of the Gentlemen of the Army and Navy. Translated from P. Hoste (1692)*

By William Webster. H.Woodfall, London, MDCCLXIX

---

<sup>37</sup> Fincham: Op.cit. pg.xxi

<sup>38</sup> Fincham: Op.cit. pg.xxii

<sup>39</sup> *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Isaac Newton (1686)  
Barrillot, Genève, MDCCXXXIX

<sup>40</sup> *Scientia Navalis, seu Tractatus de Construendis ac Dirigendis Navibus*. Pars Prior et Pars Posterior.  
*Completen Theoriam Universam de Situ ac Motu Corporum Aquæ Innatantium*.  
Leonhardo Eulero, Prof. Honorario Academiæ Imper. Scient. et Directore Acad. Reg. Scient. Borussicæ.  
Petropoli, Tipis Academiæ Scientiarum, MDCCXLIX  
La dedicatoria al Ilmo. Presidente de la Academia, Conde de Rasumovski, en Berlin, el 25 Enero 1749,  
ocupa 42 páginas.

<sup>41</sup> *Examen Maritime*. Georges Juan.  
Traducción y añadidos de M. Levêque, Ingeniero Hidrógrafo de la Marina, Correspondiente de la  
Academia Real de Marina y del Museo de París, Profesor Real en Hidrografía y Matemáticas, en Nantes.  
Nantes, 1783.

<sup>42</sup> En el Prólogo no ahorra las palabras de reconocimiento y admiración (p.vii a xiv):  
La mucha y sublime Geometría del autor del *Essai*  
La mucha Geometría que poseía Juan Bernoulli  
La sublime Geometría de Bernoulli  
En *La Mâtire* de Bouguer florece muy particularmente la Geometría.  
El gran Geómetra Colin MacLaurin en su *Treatise of Fluxions*  
El acierto de las soluciones geométricas del *Traité du Navire*  
El especial orden y sublime Geometría con que trata todos los asuntos tan gran Maestro (L.Eulero), autor  
de la *Scientia Navalis*.

<sup>43</sup> Juan: Op.cit. pg.xiv

<sup>44</sup> Ibid, pg.xv

<sup>45</sup> Robins, Benjamin:

<sup>46</sup> Juan: Op.cit. pg.xxii

<sup>47</sup> Ibid, pg.xxiv

<sup>48</sup> Ibid, pg.xxv

<sup>49</sup> Ibid, pg.xxvi

<sup>50</sup> Smeaton, John: *Account of some Experiments upon a Machine for Measuring the Way of a Ship at Sea*.  
London, MDCCLIV.  
*An Experimental Enquiry concerning the natural Powers of Water and Wind to turn Mills and other  
Machines depending on a circular Motion*. London, MDCCLX

<sup>51</sup> Ibid, pg.xxviii

<sup>52</sup> Ibid, pg.xxix

<sup>53</sup> Ibid, pg.xxx

<sup>54</sup> Amontons: *Remarques et experiences phisiques sur la construction d'une nouvelle clepsidre, sur les  
barometres, termometres & higrometres*. Paris, Claude Jombert, MDCXCV

---

<sup>55</sup> Bilfinger, Giorgi Bernhard: *Elementa Physices, accedens ejusden Meditationes mathematico-Physicae*, in comentariis Acad.Scient.Imper.Petropolit. obviae cum Disquisitione de Vampyris. Impensis Richterianis, Lipsiae, MDCCXII

<sup>56</sup> Simón Calero: Op.Cit.

<sup>57</sup> Thomas Simpson (1714-1761) era coetáneo de Jorge Juan y era profesor de matemáticas en Woolwich cuando Juan estuvo en Inglaterra. Fue elegido miembro de la Real Academia de Ciencias de Estocolmo en 1758.

En su biblioteca, Jorge Juan no tenía obras de Thomas sino de Robert Simpson (1687-1768), matemático escocés que descubrió la recta de su nombre.

<sup>58</sup> Jean Bernoulli (1714): Op.Cit

Incluye al final las cartas que cruza con el Caballero Renau, en las que ambos desarrollan con esmero sus teorías y que ilustran, mejor que cualquier otro texto, los fundamentos y los detalles de ambas posturas.

<sup>59</sup> Ibid, f.6v

<sup>60</sup> Ibid, pg.117

<sup>61</sup> *La Théorie de la Manoeuvre del Vaisseaux. Reduite en Pratique ou les Principes et les Regles pour Naviguer le plus avantageusement qu'il est possible*. M.Pitot. Paris, Claude Jombert, MDCCXXXI

<sup>62</sup> En nuestras traducciones del francés hemos respetado las diferencias que usan los diversos autores, y así traducimos *Navire* por Nave, *Vaisseau* por Navío y *Battiment* por Embarcación.

<sup>63</sup> *Traité du Navire, de sa Construction, et de ses Mouvements*. Pierre Bouguer. Jombert, París, MDCCXLVI

<sup>64</sup> Ibid, Prefacio

El libro lo debió de terminar en 1741 y “depositó una copia en manos de una persona segura” en Quito antes de partir. “Aproveché mejor la ocasión que debía tener seguida en la Mar durante mi regreso, para reconocer si había en ello alguna cosa que cambiar”, pero “he considerado que si mi trabajo debía tener algún fruto, no podía apresurarme mucho en publicarlo, y he creído que era bueno que lo precediera la Relación de mi viaje; lo que me daría a la vez más tiempo libre para poner en orden todos los materiales que debían entrar en él.”

Esta decisión explicaría la adición de nueve capítulos como “continuación del capítulos precedente”, en los que precisamente incluye formulaciones y desarrollos matemáticos que no había en los anteriores.

<sup>65</sup> Ibid, Prefacio

“Se puede censurar a aquellos Geómetras que emplean a veces este auxilio para demostrar verdades tan cercanas que están a sus pies y que las tocan: no es excusable servirse sin necesidad de un gran aparato de instrumentos o de máquinas para no operar más que en cosas fáciles. Entonces, el Álgebra, envilecida por el mal uso que se hace de ella, en lugar de ser de todos los medios el más propio para suplir la limitación de nuestras facultades, no es más que el de embrollar las materias y de impedir la entrada en ellas a varios Lectores que serían capaces de entenderlas, si no estuviesen enunciadas por ellos en una lengua extraña. Tenemos algunos Libros que ponen de moda este abuso por la reputación de su Autor: se reducen a no ver la verdad más que bajo el velo de los enigmas, aunque se trate a veces de materias conocidas por otra parte y ya tratadas con claridad; y se ha llegado hasta querer, alterando el orden de las cosas, hacernos preferir este empleo de símbolos en los conocimientos que nacen del fondo mismo del tema.

Pero lo mismo que no es posible hablar de las luces de la Geometría elemental en una infinidad de casos, es aún más necesario en otros lugares, cuando la naturaleza de los Problemas lo exige, recurrir a la alta Geometría; a pesar de lo que dicen algunas personas que parecen haberse conjurado contra esta Ciencia superior, y que buscan, tal vez, consolarse del poco progreso que han hecho en ella.”

Basta en fin, para disculparnos totalmente, confesar que no hemos podido hacerlo mejor.”

<sup>66</sup> *Scientia Navalis seu Tractatus de Construendis ac Dirigendis Navibus*.

Pars prior, Completens Theoriam Universam de Situ ac Motu Corporum Aquæ Innatantium.

---

Pars posterior, In qua Rationes ac Praecepta Navium Construendarum et Gubernandarum fusius exponentur. Leonhardo Eulero. Prof. Honorario Academiae Imper. Scient. et Directore Acad. Reg. Scient. Borussicae. Tipis Academiae Scientiarum, Petropoli, MDCCXLIX

<sup>67</sup> Ibid, pg.43

Ofrecemos aquí nuestra versión del original latino:

“Lo que más me interesa es que estos libros míos se vean liberados de sospecha de plagio. Que no puedan creer injustamente que los argumentos que presento y que se exponen de igual modo se sacaron de aquella obra que se presentó unos cuatro años antes que la mía. Toda la verdad es sobradamente conocida por la Academia Imperial, cuyo mandato me encargó componer mi tratado ya en el año 1737. Ya el año 1740 cuando marché a Petrópoli estaba totalmente acabado el libro primero.s que ya entonces el libro primero, cuando marché a Petrópoli, y seguí trabajando sin interrupción en la parte central del último libro, que perfeccioné totalmente tras mi llegada a Berlín, para que ambos libros pudieran ver la luz pública el año siguiente. También puede atestiguarlo así muchos amigos míos, a los cuales ya entonces les comunicaba capítulos elegidos de mis reflexiones; pero la autoridad de la Academia me sobra para reivindicarme. A esto se añade que, que el Célebre Bouguer todo aquel tiempo, en que yo trabajaba en este estudio, estaba residiendo en América, donde también se dice que componía su obra, así que entre nosotros no pudo interponerse ningún comercio literario, de lo que ni siquiera pudiera aprovechar el uno del otro.”

<sup>68</sup> Ibid. Tomo primero. Títulos de los Capítulos y de la primera proposición de cada uno.

Cap.1. Del equilibrio de los cuerpos flotantes en el agua. (pg.1)

Lema 1. La presión que el agua ejerce sobre el cuerpo sumergido en un punto es normal a la superficie del cuerpo, y la fuerza que cualquier elemento de superficie sumergida sostiene igual al peso del cilindro recto de agua cuya base es el mismo elemento de superficie y la altura de agua es la profundidad del elemento debajo de la superficie más alta del agua.

Cap.2. De la restitucion del equilibrio de los cuerpos flotantes en el agua. (pg.47)

Proposición 14. Si el cuerpo flota así en el agua, si no tiene tanta parte sumergida en el agua cuanta se requiere para el equilibrio, o la recta que une los centros de gravedad y del volumen no fuera vertical, entonces el cuerpo se mueve hasta llegar al estado de equilibrio.

Cap.3. De la estabilidad, que mantiene el equilibrio de los cuerpos quietos en el agua. (pg.86)

Proposición 19. La estabilidad, que busca el cuerpo flotante en el agua en situación de equilibrio, se estima por el momento de la fuerza resistente, si el ángulo dado del cuerpo es infinitamente pequeño por la posición que fuere desviado del equilibrio.

Cap.4. Del efecto de las fuerzas que solicitan los cuerpos flotantes en el agua. (pg.169)

Proposición 40. Si en la nave cutyo vaso cualquiera Ab, cuyo peso es M una carga P cuyo peso es m se traslada un espacio Pp hasta p, todo el centro de gravedad del vaso G se traslada según la dirección Gg paralela a Pp en g de modo que sea  $Gg = m.Pp / M$ .

Cap.5. De la resistencia, que padecen las figuras planas movidas en el agua. (pg.206)

Proposición 49. Si una figura plana con velocidad dada se mueve en el agua, defiir la resistencia que padece la disminución de su movimiento, mientras recorre un espacio dado.

Cap.6. De la resistencia, que padecen los cuerpos cualesquiera movidos en el agua. (pg.281)

Proposición 61. Sea ATDBb la figura anterior de una nave sumergida en el agua y el plano vertical ACD dividido en dos partes iguales y semejantes; si esta figura se desplaza en el agua en curso directo según la dirección CAL, determinar la resistencia que esta figura padece en su movimiento. (pg.281)

Cap.7. Movimiento de avance de los cuerpos flotantes en el agua. (pg.359)

Proposición 74. Si un cuerpo cuyo plano diametral es vertical se mueve en agua quieta en curso directo, determinar su movimiento, que empieza a moverse, disminuye al producirse la resistencia del agua, y la velocidad en puntos singulares del camino que describe.

<sup>69</sup> Nowacki, Horst : *Leonhard Euler and the Theory of Ships*. Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, 2007

<sup>70</sup> Ibid, pg.14

<sup>71</sup> *Éléments de mécanique et physique, où l'on donne géométriquement les principes du choc & des équilibres entre toutes sortes de corps*. Avec l'explication naturelle des machines fondamentales. Antoine Parent. F et P Delaulne, Paris, MDCC

---

<sup>72</sup> *The Ship-Builder's Assistant or some Essays towards Compleating the Art of Marine Architecture.* William Sutherland, Shipwright and Mariner. R. Mouny, London, 1711.

<sup>73</sup> Ibid. Pg.77 y ss.

Describe con detalle y claras figuras el uso de planos a escala 1/48 y los métodos de trazado empleados en Inglaterra: el de gálbo único (*whole moulding*) y el de arcos de círculos; y explica el uso de las *sirmarks* (diagonales de las bagaras) para tomar los escantillones de las cuadernas.

<sup>74</sup> *Britain's Glory, or Shipbuilding Unveiled*, being a general director for building and compleating the said machines. William Sutherland. Tho.Norris, London, MDCCXVII

<sup>75</sup> *Éléments de physique demontrez mathématiquement et confirmez par des experiences ou introduction a la philosophie newtonienne.* Guillaume Jacob's Gravesande. Tome premier. Jean Arn. Langerak, Leide, MDCCXLVI

<sup>76</sup> Gravesande: Op.Cit.

Autores cuyas obras utiliza y cita Gravesande:

La Curva Espiral Logarítmica: Wallis, Barrow, Jaq.Bernoulli

Clases de Infinitos: Newton, Hauskbee, Mariotte

Equilibrio: Wallis

Velocidad de caída: Hauskbee, Galileo, Newton, Casati

Centro de Gravedad: Wallis, Cassini

La Cuña: Hire, Varignon

Potencias oblicuas y Palanca angular: Varignon

Fuerzas concurrentes: Marsenne

Péndulos y Cicloide: Huygens

La Cicloide, la más rápida: Jean Bernoulli

Proyección de cuerpos: Galileo, Blondel, Cotes

Fuerzas centrales: Huygens, Newton, Desaguliers

Choque y presión: Aristóteles, Galileo, Borelli

Fuerzas de impulsión; oscilación: Huygens, Abbé de Catalan, Leibnitz

La percusión dura: Wallis

La percusión elástica: Huygens, Wren, Mariotte, Kepler

Elasticidad: Marsenne

Presión de Fluidos: Arquímedes, Pascal, Stevin, Boyle

Movimiento de Fluidos: Newton, Mariotte, Poleni, Mariotte

Velocidad del Agua: Gulielmini, Newton, Dan.Bernoulli

Cuerpos movidos en Fluidos: Newton, Huygens

Peso del Aire: Galileo, Aristóteles, Torricelli, Pascal, Boyle, Guericke

<sup>77</sup> *Sur les Mouvements de Roulis et Tangage des Navires.* Piece que remporte le Prix de l'Académie des Sciences. M.Chauchot, Sous-Constructeur des Vaisseaux du Roy, en Département de Brest. G.Martin, Paris, MDCCLV.

El lema del premio era: "La meilleure manière de diminuer le plus qu'il est possible le roulis & le tangage d'un navire, sans qu'il perde sensiblement par cette diminution aucune des bonnes qualités que sa construction doit lui donner." Se volvió a convocar en 1757 y lo ganó Bouguer.

Todavía habrá otros tres Premios de l'Académie relativos a la Marina antes de 1771:

En 1759, "L'examen des efforts qu'ont à soutenir toutes les parties d'un vaisseau dans le roulis & dans le tangage ou recherches sur la diminution de ces mouvements, & la meilleure manière de procurer à leurs assemblages la solidité nécessaire pour résister à ces efforts sans préjudicier aux bonnes qualités du vaisseau." El premio de 2.000£ lo compartieron Leonhard Euler y Antoine Groignard, Constructor de Navíos del Rey.

En 1761, "La meilleure manière de lester & d'arrimer un vaisseau, & les changemens qu'on peut faire en mer à l'arrimage, soit pour faire mieux porter la voile au navire, soit pour lui procurer plus de vitesse, soit enfin pour le rendre plus ou moins sensible au gouvernail". El premio de 2.000£ lo compartieron Jean-Albert Euler y el abad Bossut.

En 1763. "La description des différentes méthodes qu'on emploie, tant pour l'arrimage des vaisseaux marchands que pour celui des vaisseaux de guerre, la discussion de ces méthodes & l'examen de ce qu'on peut faire pour les perfectionner. El premio quedó desierto y se dobló para 1765 con un nuevo lema.



---

En 1765, “Quelles sont les méthodes usitées dans les ports pour lester ou arrimer les vaisseaux de toutes les grandeurs & de différentes espèces, le poids & la distribution des matières qu'on y emploie, l'effet qu'elles produisent sur le sillage, sur les lignes d'eau, sur les propriétés de bien porter la voile, de bien gouverner, d'être doux à la mer, & sur les autres qualités d'un vaisseau, les inconvénients dont ces méthodes sont susceptibles & les remèdes qu'on pourrait y apporter.”

El premio de 4.000£ lo compartieron Antoine Goignard, Bourdé de Villehuet, el abad Bossut y otro autor anónimo. Según J.Lalande: «*Abrégé de navigation*», Paris, 1793, p 17, le quatrième mémoire anonyme serait de Gauthier (ingénieur de la marine d'Espagne) qui était alors en Espagne et qui ne sut qu'en 1778 qu'il était parmi les auteurs récompensés.

<sup>78</sup> *La mâturation discutée et soumise à des nouvelles lois*. Alexandre Savérien. 1747.

<sup>79</sup> Ibid, pg.xj

<sup>80</sup> Ibid, pg.xiiij

<sup>81</sup> *De la Mâturation des Vaisseaux*

Con este trabajo, Bouguer ganó el Premio convocado por la Academia de Ciencias de Paris con el lema: “Quelle est la meilleure manière de mâter les Vaisseaux, tant par rapport à la situation qu'au nombre & à la hauteur des mâts”. Las 2.000£ las compartieron Bouguer y Camus, y Euler ganó un accesit.

<sup>82</sup> Savérien: Op.Cit, pg.xxviii

<sup>83</sup> Ibid, pg.xxix.

<sup>84</sup> Chauchot: Op.Cit.

Extracto de algunos puntos significativos en relación con el *Examen Marítimo*:

“La fuerza de la ola se puede producir de dos maneras; o por el choque de la ola contra el costado de la nave; o por el empuje vertical del agua que aumenta, ya que la ola se eleva por encima del nivel.

“El efecto de las olas produce su mayor efecto cuando golpea los flancos de la nave; pero entonces si conservando la misma figura de las formas se disminuye su superficie, la curvatura de los flancos aumentará en razón inversa de las dimensiones homólogas y como los senos de la oblicuidad del choque crecen en la misma razón, el esfuerzo de la ola disminuirá como el cuadrado de las dimensiones. Además, el punto donde se aplica esta fuerza se alejará del centro de gravedad del Navío una cantidad proporcional a las mismas dimensiones; por tanto, cuando se quiera atener a seguir las mismas figuras de las formas, el momento del esfuerzo del choque de las olas será proporcional a los cubos de las mangas; la mayor o menor eslora de la Nave no afecta nada a este esfuerzo, porque la ola choca siempre en una misma extensión, sea largo o corto [el barco]. (p.17)

“Hace falta tallar las formas en los extremos, lo más que se pueda, conservando una extensión razonable en la superficie de la línea de agua en carga; porque de este modo se eleva el centro de gravedad de la carena al tiempo que se baja el centro de gravedad total, pues no se pone de ordinario lastre en los extremos de la Nave. Esto es lo que el difunto M.Ollivier, Constructor en Brest, había sentido perfectamente y lo que se ha observado en todos los Navíos que él ha construido. (p.23)

“Otro medio para aumentar un poco el momento de inercia del grueso de los navíos es substituir las bulárcamas ordinarias de madera por hierro; con ello se aumenta el peso a mayor distancia de G y forman una envuelta más delgada. Además las bulárcamas de hierro pueden ponerse oblicuas y darán una buena ligazón en longitud. (p.26)

“La fórmula que hemos hallado para la resistencia [al balance] del paralelogramo nos muestra que, para figuras semejantes, el momento de la resistencia que sufren los flancos de la Nave es proporcional a las cuartas potencias de las dimensiones homólogas. (p.34)

“Un famoso Geómetra ha avanzado que había que colocar la cuaderna maestra en los 5/12 de la eslora, para favorecer lo más posible la acción del timón, pero eso suponiendo una velocidad dada. (p.42)

“Es bastante natural que examinemos la ventaja o la desventaja de las Embarcaciones supuestas semejantes, pero con diferentes grosores. Ya hemos visto que la estabilidad de los Navíos cerce como el cubo de sus mangas multiplicado por su eslora, o como la cuarta potencia de su manga cuando son semejantes; y los momentos de inercia como las cuartas potencias de las mangas multiplicadas por las esloras o las quintas potencias de sus mangas; pero la fuerza de las olas para balancear la Nave no es proporcional sino al cubo de las mangas: Se ve la superioridad de los Navíos grandes sobre los pequeños,

ventaja que subsiste en los Navíos a vela, pues la cantidad de velas necesarias para hacerlos andar no es lo bastante considerable para atormentarlos, como lo son los pequeños por el velamen que llevan.

“De donde se saca la paradoja bien contraria a lo que se podrían imaginar quienes no conocen la Marina: que es más fácil acertar en la construcción de los Navíos grandes que en las Fragatas, y lo que muestra que los Constructores de hoy han aumentado las dimensiones de los Navíos, y los hacen con mayores dimensiones que antes. (p.45)

“Se balancea más con viento en popa y se cabecea más ciñendo. Mas para detallar más fácilmente estos particulares, es preciso examinar separadamente los movimientos que produce la variación de la impulsión del viento y los que produce el choque de las olas. (p.47)

<sup>85</sup> *Éléments de l'Architecture Navale, ou traité pratique de la Construction des Vaisseaux*. Henri-Louis Duhamel du Monceau. C-A. Jombert, Paris, MDCCLII

<sup>86</sup> Ibid, Fig.1. La construcción geométrica es directa: En cada línea de agua y entre cada dos cuadernas define un triángulo rectángulo DCH cuya hipotenusa DH es el trozo de la línea de agua, CD es la clara entre cuadernas y CH es el (Sen. $\alpha$ ) cuando DH vale 1. Traza desde C la normal CO a DH, y desde O la normal OP al cateto CD, con lo que se tiene:  $DH/CH=OC/PC$  y  $DH/CH=DC/OC$ , y por consiguiente,  $DH^2/CH^2=DC/PC$ , y por tanto, con  $DH=1$ , resulta  $(\text{Sen.}\alpha)^2 = PC/CD$ , que mide gráficamente con  $CD=1$ .

<sup>87</sup> *Instruction Élémentaire et Raisonnée sur la Construction-Pratique des Vaisseaux en forme de Dictionnaire*. Duranti de Lironcourt, Enseigne des Vaisseaux du Roi. J.G.B.Musier, Paris, MDCCLXXI

<sup>88</sup> Ibid, Preface.

“Me he ceñido solamente en esta Obra a los hechos de la Práctica de la Arquitectura Naval; si se hallan en ella algunas nociones sobre la Teoría de la Construcción de los Navíos, estas nociones no se hallarán más que en algunos Artículos puramente especulativos que era indispensable insertar, o en los que la Construcción-Práctica está íntimamente ligada y sometida a la Teoría.”

<sup>89</sup> *Théorie Complete de la Construction et de la Manoeuvre des Vaisseaux*. Mise a la portée de ceux qui s'appliquent à la Navigation. Léonard Euler. C-A.Jombert, Paris, MDCCLXXVI

<sup>90</sup> Ibid: “Yo me precio de haber encontrado el modo de poner todas sus investigaciones al alcance de los que se aplican a la Marina.”

Y en la presentación de la edición de París de 1776 se dice

“El ilustre Autor de estos Elementos había dado, hace mucho tiempo, *De la Ciencia de la Marina*, una gran obra destinada a los Geómetras: ésta lo está, sobre todo, a los Marinos. Ha descartado de ella, no solamente las cuestiones que dependen de principios físicos demasiado poco ciertos y puramente hipotéticos, sino además los problemas demasiado complicados que no habrían podido ser resueltos más que con largos cálculos o por un análisis demasiado difícil, con el fin de que no fuera más que pura curiosidad. Aquí todo es cierto, útil y sencillo.”

Como vemos, explica de manera similar la misma intención Jorge Juan en el Libro quinto del Tomo 2º.

<sup>91</sup> *Teoria Compita della Costruzione e del Maneggio dei Bastimenti*. Lionardo Eulero. Traduzione dall'originale Francese con Annotazioni Di Simone Stratico, Pub.Prof. di Matematica e Teoria Nautica nell'Università de Padova. Padova, MDCCLXXVI

<sup>92</sup> Ibid, p.xxiv

<sup>93</sup> Ibid, pg.xxvii

<sup>94</sup> *Traité de la Construction des Vaisseaux*. Complemento a la *Architectura Navalis Mercatoria*, una colección de planos y tablas publicada en Stockholm en 1768. Traducido por Vial de Clairbois (1779). Durand, París, 1781.

<sup>95</sup> Ibid, Prefacio.

“La Construcción de Navíos y su armamento entrañan un gasto demasiado grande para no hacer lo posible para asegurar antes sus cualidades y la bondad de su servicio. La teoría que demuestra las causas de estas diferentes cualidades, que hace ver si los defectos que se encuentran provienen de su forma o de cualquier otro objeto, es pues muy importante. Pero el fundamento de esta teoría deben darlo la práctica y

---

la experiencia. Se uede por tanto incluso concluir que la ciencia de construir los Navíos no puede llevarse al último grado de perfección, y que no se les puede dar todas las cualidades posibles sin reunir conocimientos teóricos y prácticos.”

<sup>96</sup> Ibid, pg.155, Nota

“Está claro que el viento mantiene siempre más su fuerza cuando su cauce es perpendicular al eje mayor del Navío que cuando uno y otro están alineados. Estos cálculos son por tanto más inútiles de hacer cuando, en el presente se conoce aún muy poco el fundamento físico de *los elementos del esfuerzo del viento sobre las velas*; pues si sólo se hiciera entrar en el cálculo la densidad y la velocidad del aire, ¿cómo sería posible explicar un hecho experimentado que se debe particularmente a *D. Georges Juan, Jefe de Escuadra de las Armadas Navales de Su Majestad Católica* (en su Examen Marítimo, teórico y práctico de la Construcción de los Navíos, cuya traducciónj por M. Levêque aparecerá pronto) y saber que una Embarcación bien velera toma una gran parte de la velocidad del viento? Las partes elementales del agua son duras, sostenidas, infinitamente poco susceptibles de compresión; las del aire por el contrario son elásticas, y al condensarse en la especie de cul-de-sac que forma la vela deben experimentar muchas dificultades para separarse, y usar, al espera, su refuerzo sobre la superficie cóncava de las velas.”

<sup>97</sup> Ibid, Informe de los Comisarios de la Real Academia de Marina en 1779.

<sup>98</sup> Ibid, Prefacio

<sup>99</sup> *Examen Maritime*. Georges Juan. Traduccción y añadidos de M. Levêque, Ingeniero Hidrógrafo de la Marina, Correspondiente de la Real Academia de Marina y del Museo de París, Profesor de Hidrogratía y Matemáticas en Nantes. Nantes, 1783.

<sup>100</sup> Ibid, pg.ix

<sup>101</sup> Ibid, pg.x

<sup>102</sup> Ibid, pg.xi

“Nosotros creemos sin embargo un deber el recomendar a los Constructores que actúen con la mayor prudencia en los cambios que el estudio de esta obra pudiera llevarles a hacer en sus navíos. No hay ninguna arte cuya práctica sea más delicada, y donde sea tan fácil repetir incluso los defectos que se quiere evitar. Los nuevos inventos en lo que concierne a la Construcción de los Navíos deben ser sometidos al examen más escrupuloso antes de ser puestos en práctica: y vemos todos los días que los errores más pequeños en la aplicación de reglas muy ciertas y muy conocidas, producen defectos de la mayor consecuencia: por eso la prudencia y el cálculo deben siempre aquí guiar y hasta corregir los esfuerzos del genio.”

“Esta observación se refiere sobre todo a los Constructores que no estén suficientemente versados en la teoría para aplicar directamente el cálculo a los Navíos que quieran construir: lo que es sin embargo de una necesidad absoluta para conocer la situación de sus centros, las fuerzas para llevar vela, las resistencias tanto directas como laterales que deben experimentar en el fluido, en una palabra, para tener una idea justa de sus cualidades. Nuestros conocimientos físicos no serán llevados al grado de perfección del que son susceptibles más que cuando estemos suficientemente avanzados, no solamente para penetrar las causas de los fenómenos, sino además para calcular sus efectos. En la Arquitectura Naval, creemos que se deben desafiar muchos cambios que se pueden llevar a hacer en un Navío tras la mera inspección de sus planos, sin haberlos sometido previamente al cálculo: no está dado más que a los Artífices con una experiencia consumada y esclarecida por una buena teoría preliminar, el actuar así tras un simple vistazo: y aún se ha visto demasiado a menudo Navíos muy malos salir de las manos de Ingenieros de los que deberían esperarse obras de la mayor perfección, y eso por haber ejecutado sus Navíos según la sola especulación, sin someter sus planos a un cálculo riguroso.”

<sup>103</sup> Ibid, pg.xii

<sup>104</sup> *Traité Élémentaire de la Construction des Vaisseaux à l'usage des Élèves de la Marine*. Vial du Clairbois. Clousier, Paris, MDCCLXXXVII.

---

<sup>105</sup> *Examen Marítimo*. Edición segunda, aumentada con una exposición de Otros principios, Mi cálculo, Notas al texto. Tomo I. Gabriel Ciscar, Capitán de Fragata y Director de los Estudios de la Academia de Guardias Marinas del Departamento de Cartagena. Imprenta Real, Madrid, 1793.

<sup>106</sup> Ciscar: Op.Cit. Prólogo.